Chimie agricole (4e édition revue) / par E. Chancrin,...

ENCYCLOPÉDIE DES CONNAISSANCES AGRICOLES

E. CHANCRIN

Chimie Agricole



• HACHETTE & Cie •

2 fr. 50

ENCYCLOPÉDIE DES CONNAISSANCES AGRICOLES



Chimie agricole

ENCYCLOPÉDIE
DES CONNAISSANCES AGRICOLES

PUBLIÉE PAR UNE RÉUNION DE MEMBRES DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

SOUS LE PATRONAGE DE MM.

ADOLPHE CARNOT
Membre de l'Institut.

ED. MAMELLE
Sous-Directeur honoraire de l'Agriculture.

ET SOUS LA DIRECTION DE

E. CHANCRIN
Inspecteur de l'Agriculture.

FORMAT IN-16, CARTONNÉ

Les volumes parus sont indiqués par un astérisque ✱

I. — NOTIONS GÉNÉRALES SUR LES SCIENCES APPLIQUÉES A L'AGRICULTURE

✱ **Chimie générale appliquée à l'Agriculture,** par E. Chancrin, Inspecteur de l'Agriculture. Un vol 2 50

✱ **Chimie agricole,** par E. Chancrin. Un vol. 2 50

Physique et météorologie agricoles, par E. Chancrin. Un vol. . . . . » »

Histoire naturelle générale :

Zoologie et Microbiologie agricoles. Un vol. . . . . » »

Botanique agricole, par M. Griffon, Professeur à l'Ecole nationale d'Agriculture de Grignon. Un vol. . . . . » »

Géologie agricole, par Guicherd, Professeur départemental d'Agriculture de la Côte-d'Or. Un vol. . . . . » »

II. — AGRICULTURE

Agriculture générale (Culture et amélioration du sol), par M. Parisot, Professeur d'agriculture à l'Ecole nationale d'Agriculture de Rennes. Un vol. . . . . » »

Agriculture spéciale :

✱ *Les Céréales*, par A. Desriot, Directeur de l'École d'agriculture de l'Allier. Un vol. 2 50

✱ *Les Prairies*, par L. Malpeaux, Directeur de l'École d'agriculture du Pas-de-Calais. Un vol. 1 50

✱ *Les Plantes sarclées* (Pomme de terre, Betterave, Carotte, etc.), par L. Malpeaux, Directeur de l'Ecole d'agriculture du Pas-de-Calais Un vol. . . . . 2 »

Les Plantes Industrielles :

✱ *La Betterave à sucre, la Betterave de distillerie et la Chicorée à café*, par L. Malpeaux, Directeur de l'Ecole d'Agriculture du Pas-de-Calais. Un vol 1 50

✱ *Les Plantes oléagineuses*, par L. Malpeaux, Directeur de l'École d'agriculture du Pas-de-Calais. Un vol. . . . . 1 »

✱ *Les Plantes textiles*, par L. Bonnètat, Professeur à l'École d'agriculture de la Vendée. Un vol. . . . . 50 c.

✱ *Le Tabac*, par F. de Confevron, Vérificateur de la culture des tabacs. Un vol. . . . . 75 c.

✱ *Le Houblon*, par G. Moreau, Professeur de brasserie à l'École nationale des industries agricoles de Douai. Un vol. . . . . 75 c.

✱ **Arboriculture fruitière,** par J. Vercier, Professeur d'horticulture et d'arboriculture de la Côte-d'Or. Un vol.. . . . . 3 50

Culture potagère, par J. Vercier. Un vol. . . . . » »

✱ **Viticulture moderne,** par E. Chancrin. Un vol. . . . 3

✱ **Forêts, Pâturages et Prés-Bois.** Economie Sylvo-Pastorale, par A. Fron, Inspecteur des Eaux et Forêts. Un vol. 1 50

ENCYCLOPÉDIE
DES CONNAISSANCES AGRICOLES

(*Suite*)

Industries agricoles :

✱ ***Le Blé, la Farine, le Pain***, Étude pratique de la meunerie et de la boulangerie par Ed. Rabaté, Professeur départemental d'agriculture du Lot-et-Garonne. Un vol. 1 80

✱ ***Le Vin***, Procédés modernes de préparation, d'amélioration et de conservation, par E. Chancrin. Un vol. 2 50

✱ ***Le Cidre***, Guide pratique de production et de préparation, par P. Labounoux, professeur départemental d'agriculture de la Manche et Touchard, directeur de l'École d'agriculture de Pétré. Un vol. . 2 »

✱ ***Le Sucre***, Procédés de fabrication et utilisation de sous-produits, par G. Pagès, Maître de conférences à l'Ecole nationale d'agriculture de Montpellier. Un vol. . . . . » »

✱ ***La Bière***, Procédés modernes de préparation et utilisation de sous-produits, par G. Moreau, Professeur de brasserie à l'Ecole nationale des Industries agricoles de Douai. Un vol. . . . . 50 c.

✱ ***Les Eaux-de-vie et les Alcools***, Guide pratique du Bouilleur de cru et du Distillateur, par G. Pagès, Maître de conférences à l'Ecole nationale d'agriculture de Montpellier. Un vol. 1 50

✱ ***Les Essences et les Parfums***, Extraction et fabrication, par A. Rolet, Professeur à l'Ecole d'agriculture d'Antibes, suivi de l'Essence de térébenthine, par Ed. Rabaté, Professeur départemental d'agriculture du Lot-et-Garonne. Un vol. 1 25

✱ ***Laiterie, Beurrerie, Fromagerie***, par V. Houdet, Directeur de l'Ecole nationale des industries laitières à Mamirolle. Un vol. 1 25

✱ ***Huilerie agricole***, par P. d'Aygalliers, Professeur à l'Ecole d'agriculture d'Oraison. Un vol. . . . . 75 c.

✱ ***Les Matières textiles*** (Voir le fascicule *Les Plantes textiles* dans l'Agriculture spéciale).

✱ ***Les Conserves alimentaires*** (fabrication ménagère et industrielle), par L. Lavoine, Professeur à l'Ecole d'agriculture de l'Allier. Un vol. 1 80

III. — LES ANIMAUX

Les Insectes utiles et les insectes nuisibles à l'Agriculture (Entomologie agricole). Un vol. . . . . » »

Les Abeilles. Petit traité d'Apiculture pratique. Un vol. . . . . . . » »

Les Poissons. Petit traité de Pisciculture pratique. Un vol. . . . » »

Les Oiseaux de basse-cour. Petit traité d'Aviculture pratique. Un vol. . . . . » »

Le Ver à soie. Petit traité de Sériciculture pratique. Un vol . . » »

Les Animaux domestiques (Zootechnie) :

- ***Le Cheval et l'Ane***. Un vol. . . . . » »
- ***Le Bœuf***. Un vol. . . . . » »
- ***Le Mouton et la Chèvre***. Un vol. . . . . » »
- ***Le Porc***. Un vol. . . . . »

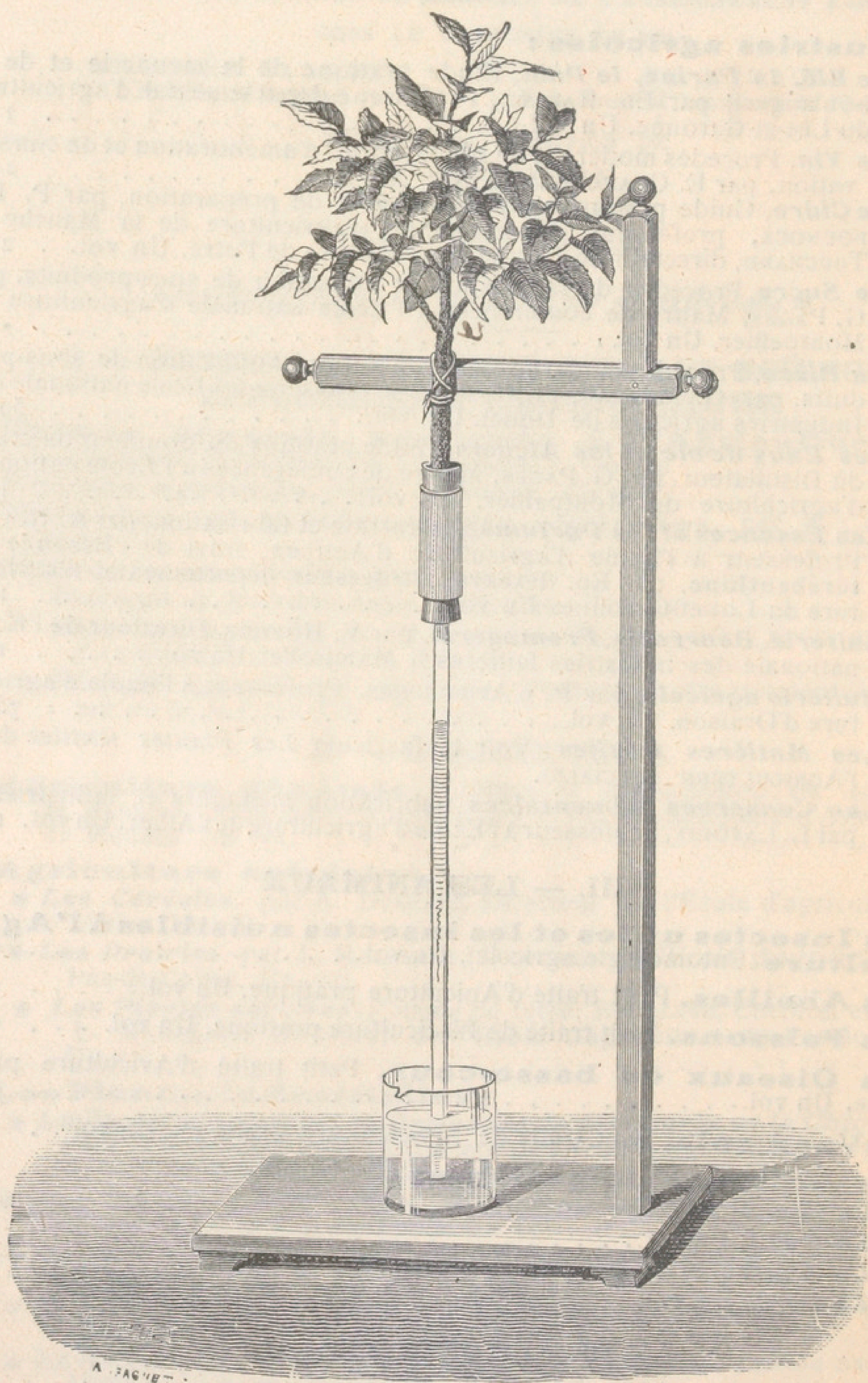
IV. — GÉNIE RURAL

Notions sur les constructions rurales. Un vol. . . » »

Machines agricoles et moteurs. Un vol. . . . . » »

Drainage et irrigations. Un vol. . . . . » »

V. — ÉCONOMIE. LÉGISLATION. COMPTABILITÉ.

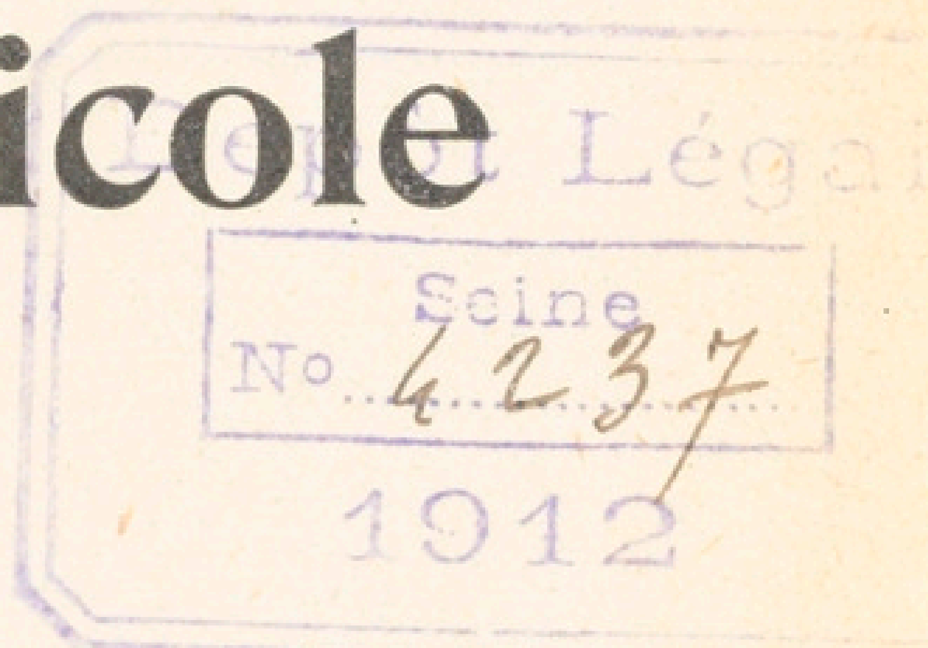


EXPÉRIENCE MONTRANT L'ASPIRATION EXERCÉE PAR LES FEUILLES

ENCYCLOPÉDIE DES CONNAISSANCES AGRICOLES
Sous la Direction de M. E. CHANCRIN, Inspecteur de l'Agriculture.



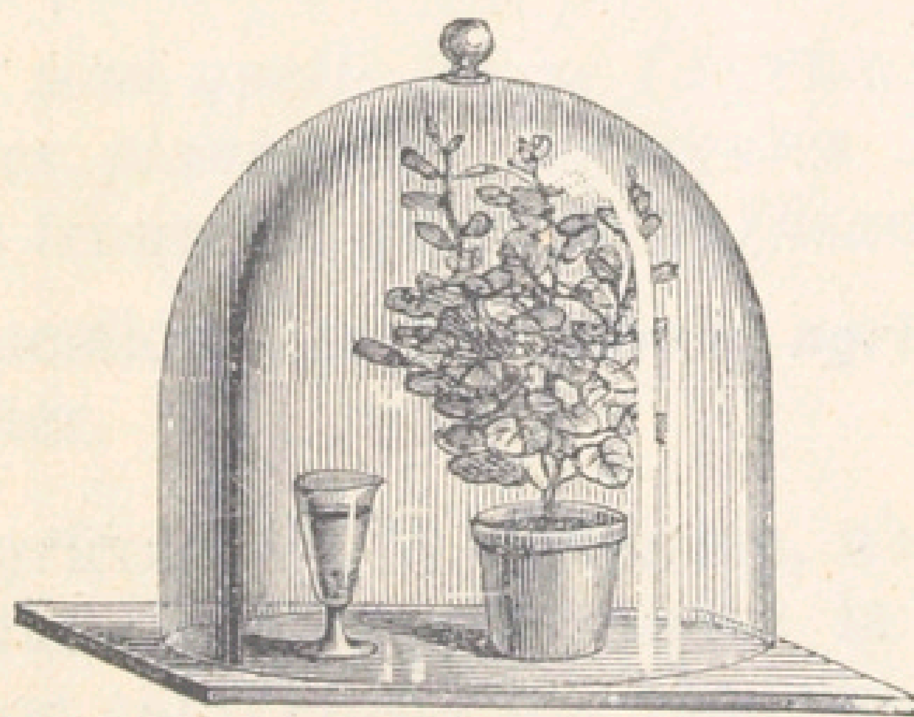
Chimie agricole



PAR

E. CHANCRIN
Ingénieur-agronome
Inspecteur de l'Agriculture

QUATRIÈME ÉDITION REVUE



LES PLANTES
DÉGAGENT DE L'ACIDE CARBONIQUE

PARIS
LIBRAIRIE HACHETTE ET Cie
79, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 79
—
1912

CHIMIE AGRICOLE

INTRODUCTION

Le bon agriculteur doit s'efforcer d'obtenir la plus grande quantité possible de produits végétaux utiles avec *un bénéfice maximum*. Il ne peut le faire que s'il connaît :

1° *Quelles sont les substances servant de nourriture aux plantes;*

2° *Comment et dans quels milieux (sol ou air) les plantes prennent ces différentes substances;*

3° *Quelle est la quantité de substances que renferment ces milieux et que les plantes peuvent utiliser;*

4° *Comment et sous quelle forme l'agriculteur peut mettre à la disposition des plantes les différentes substances que ces plantes n'ont pas trouvé en quantité suffisante dans le sol.*

Ce sont ces questions que la **chimie agricole** étudie et que nous allons étudier.

« La chimie agricole, dit M. Déhérain, n'est pas une science désintéressée, elle s'applique à rendre la culture rémunératrice ». Sa mission est d'élever les rendements tout en faisant le maximum de bénéfices.

« En augmentant la masse de matières alimentaires que produit son domaine, le cultivateur sert à la fois l'intérêt général et sa propre fortune, car la prospérité agricole est bien mieux assurée par l'accroissement des rendements que par l'élévation des prix ».

La production végétale s'est accrue notablement dans presque tous les pays civilisés. En France, sous l'influence d'un meilleur mode de culture (labours profonds, drainage, irrigation, etc.), d'un meilleur choix de semences et surtout d'un apport de matières fertilisantes (fumures complémentaires du fumier de ferme) la production du blé, qui peut donner l'idée du progrès

accompli, a augmenté, d'après M. Grandeau, de plus de 20 pour 100 dans le dernier quart de siècle; de 14 hectolitres vers 1870 elle a dépassé 17 hectolitres en moyenne à l'hectare en 1896.

Il y a cependant encore fort à faire.

Ainsi que le fait remarquer M. Grandeau, la France cultivée doit suffire à sa consommation en pain et en viande; elle devrait même être exportatrice de grains et de bétail.

Guidés par la science, nous devons donc travailler à faire mieux, ce qui est parfaitement possible, si l'on considère que, pour le blé, par exemple, les rendements s'élèvent dans certaines régions jusqu'à 30 et 40 hectolitres à l'hectare. Ce qui doit nous encourager c'est que la plus légère amélioration, étant données les surfaces considérables que nous cultivons, peut donner des résultats importants.

C'est ainsi que si l'on augmentait sur tout notre territoire, le rendement moyen en blé de 50 litres par hectare au prix de 18 francs l'hectolitre, ce léger excédent représenterait une somme de 65 millions.

Dans ces améliorations que nous recherchons, la chimie nous est particulièrement précieuse. De toutes les sciences, la chimie agricole est certainement celle qui contribue le plus à la marche en avant de l'agriculture dans la voie du progrès. Nous ne saurions commencer son étude sans évoquer les noms de ses fondateurs : *de Saussure*, *Liebig*, *Boussingault*, les premiers initiateurs : Schlœsing, Müntz, Risler les savants professeurs à l'Institut agronomique dont nous ne nous rappelons pas sans une profonde émotion les brillantes leçons; de Gasparin, Pasteur et son Ecole, Déhérain, Grandeau, Hellriegel, Berthelot et André.... que nous citerons souvent puisque les connaissances en Chimie agricole que nous possédons actuellement résultent de leurs travaux.

Nous aurions pu étudier dans cet ouvrage, non seulement l'alimentation des plantes, mais aussi l'alimentation des animaux domestiques. La chimie des animaux domestiques est, en effet, tout aussi agricole que la chimie des végétaux cultivés et que la chimie du sol qui les produit. Comme l'ont fait la plupart des auteurs, nous avons cru devoir laisser cette question à la Zoologie agricole et à la Zootechnie.

Nota. — Dans l'*Encyclopédie des connaissances agricoles*, l'étude de la **Chimie** nécessaire aux agriculteurs comprend deux parties :

1re *partie* : ***Notions de Chimie générale appliquée à l'Agriculture.***

2e *partie* : ***Chimie agricole.***

CHAPITRE I

LES SUBSTANCES QUE CONTIENNENT LES PLANTES

1. Substances servant à la nourriture des plantes. — *Ces substances sont nécessairement celles qui constituent le végétal lui-même, c'est-à-dire celles que toute plante puise, pour s'accroître, soit dans l'air, soit dans le sol.*

Elles sont les mêmes pour toutes les plantes; il n'existe de différence que dans leur proportion.

Les organes des plantes sont formés de substances que l'on peut diviser en deux catégories :

1° ***Les matières organiques*** que nous avons étudiées dans la première partie de l'ouvrage (cellulose, matières sucrées, matières amylacées, matières grasses, tanin, résines, acides organiques, etc., etc.). Elles sont formées, comme nous l'avons vu, de trois éléments : ***carbone, hydrogène, oxygène,*** auxquels s'ajoute souvent ***l'azote.***

Ces matières organiques disparaissent quand on brûle la plante : elles se transforment en *gaz carbonique* et en *vapeur d'eau*; il se dégage en outre des vapeurs renfermant de *l'azote* et qui se condensent dans la suie de cheminée.

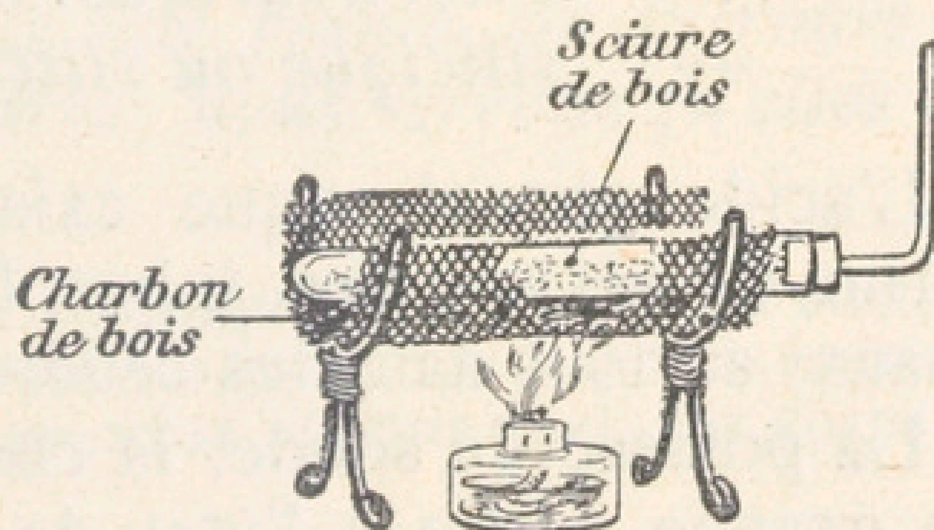


Fig. 1. — *La matière végétale chauffée (sciure de bois par exemple) dégage un certain nombre de produits renfermant du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote.*

Expérience I. — Dans un tube à essai (fig. 1), on met des petits morceaux de bois ou mieux de la sciure de bois et l'on chauffe avec du charbon disposé dans une toile métallique, ce charbon étant allumé par une lampe à alcool ou un bec de gaz.

Il se dégage, au début, de la *vapeur d'eau*, puis de l'*alcool*, du *vinaigre de bois*, des *produits goudronneux*, dont on sent parfaitement l'odeur; puis enfin un mélange de gaz constituant le *gaz d'éclairage*[1].

1. Voir Chimie générale, *Distillation du bois*, p. 208, et *Fabrication du gaz d'éclairage*, p. 196.

Quand le gaz cesse de se dégager, il reste dans le tube du *charbon de bois* et, sur les parois du tube, des gouttelettes noirâtres de *goudron*.

Tous ces produits, ainsi que nous l'avons vu, sont formés de *carbone*, d'*hydrogène*, d'*oxygène* et d'*azote*.

Expérience II. — Chauffons un peu de farine, matière végétale, avec de la chaux en poudre dans un tube à essai muni d'un tube à dégagement (fig. 2). On peut constater à l'odeur qu'il y a dégagement d'*ammoniaque*; on peut constater également le dégagement de l'ammoniaque avec une baguette trempée dans de l'acide chlorhydrique, il se forme des fumées blanches assez lourdes[1], ou encore avec une feuille de papier de tournesol rouge qui bleuit. Or, l'ammoniaque renferme de l'*azote*, preuve que la matière végétale en contient aussi.



FIG. 2. — *La matière végétale (farine par exemple) chauffée avec de la chaux dégage de l'ammoniaque, gaz renfermant de l'azote.*

2° ***Les matières minérales.*** — On les trouve dans les *cendres* lorsqu'on brûle la plante, ces matières n'étant pas volatiles[2].

L'analyse montre que les cendres de n'importe quelle plante se composent essentiellement d'un certain nombre de substances toujours les mêmes, en proportions variables.

Les principales sont :

L'acide **phosphorique**[3].	**Potasse.**
— *sulfurique.*	**Chaux.**
— *carbonique.*	*Magnésie.*
— *chlorhydrique.*	*Soude.*
— *silicique ou silice.*	*Oxydes de fer, de manganèse.*

L'acide phosphorique existe à l'état de combinaison sous forme de phosphates (phosphate de potasse, de magnésie, de chaux) surtout dans les cendres de graines.

La potasse, la soude, la chaux se trouvent dans les cendres en grande partie à l'état de carbonates. Mais ces carbonates n'existent pas tout formés dans la plante, ils prennent naissance pendant la combustion :

Les plantes contiennent, en effet, de la potasse, de la soude, de la chaux combinées à des acides organiques tels que les acides tartrique, oxalique,

---

1. Ce sont des particules extrêmement fines de chlorure d'ammonium ou chlorhydrate d'ammoniac (voir Chimie générale, Expérience I, p. 50).

2. La quantité de cendres obtenue varie de 2 à 15 pour 100 du poids de la matière végétale préalablement desséchée.

3. Nous avons souligné le nom des corps qui sont plus spécialement importants au point de vue pratique pour l'agriculteur.

acétique, etc., acides décomposables par la chaleur; quand on les brûle, ces acides qui renferment du charbon ne peuvent brûler sans produire de l'acide carbonique, de là ces carbonates, constatés dans les cendres.

Les cendres des racines, des tiges et des feuilles présentent une composition assez variable : en général les feuilles, lorsqu'elles sont jeunes, renferment des proportions assez notables de potasse et d'acide phosphorique, mais, à mesure qu'elles avancent en âge, ces deux substances diminuent tandis qu'au contraire, le carbonate de calcium et la silice augmentent jusqu'à former plus des trois quarts du poids des cendres totales.

Les cendres des graines sont presque exclusivement formées de phosphates (phosphate de potasse surtout, phosphate de chaux, de magnésie, etc.). Nous verrons que les engrais phosphatés exercent, en effet, une influence marquée sur la formation des graines.

Les substances que nous avons énumérées plus haut sont pour ainsi dire fondamentales, celles qui ne font jamais défaut dans les cendres.

On trouve en outre dans les cendres, en proportions très faibles, un certain nombre de corps tels que le zinc, le cuivre, le brome, le fluor, l'iode etc., qui malgré leur rareté peuvent jouer un rôle important dans la vie des plantes ainsi que nous le verrons. L'importance de ces corps, au point de vue pratique (notamment du manganèse) tout en étant loin d'être nulle, n'est pas encore assez démontrée pour que nous insistions davantage.

2. EN RÉSUMÉ, *les plantes renferment :*

1° **Du carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène, et de l'azote** *formant leurs matières organiques. Lorsqu'on brûle une plante, ces gaz retournent à l'atmosphère d'où ils proviennent presque en entier, comme nous le verrons.*

2° **Des matières minérales** *parmi lesquelles les plus importantes au point de vue pratique sont :* **l'acide phosphorique, la potasse, la chaux.** *Lorsqu'on brûle une plante, on retrouve ces matières minérales dans les cendres; nous verrons qu'elles doivent leur origine à la terre.*

L'analyse nous indique l'existence des corps que nous venons de citer, elle ne nous renseigne pas sur la manière dont ces corps sont associés entre eux dans la plante, sauf dans certains cas spéciaux et pour quelques corps seulement.

Où la plante prend-elle tous ces corps, comment les absorbe-t-elle et comment elle se développe? Ce sont ces questions que nous allons examiner.

CHAPITRE II

COMMENT LES PLANTES SE NOURRISSENT AU DÉBUT DE LEUR DÉVELOPPEMENT. GERMINATION

3. Ce que c'est qu'une graine. — Une graine bien formée donne, dans certaines conditions, naissance à une plante.

Examinons les différentes parties d'une graine. Choisissons pour cela le *haricot*.

Coupons ce haricot en son milieu dans le sens de sa plus grande longueur, comme l'indique la figure 3. Les deux moitiés obtenues (qui se séparent naturellement quand la graine germe) ont reçu le nom de *cotylédons*[1].

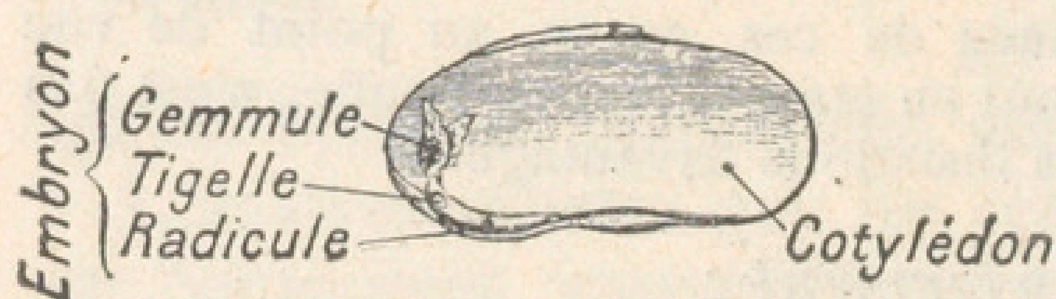


FIG. 3. — LA GRAINE DE HARICOT (*coupée au milieu*).

Les différentes parties qui la composent : l'embryon formé de la radicule, de la tigelle et de la gemmule; les cotylédons servant de magasins à provision pour la jeune plante.

Sur l'une de ces moitiés on remarque un petit corps arqué, allongé dont une partie se voyait à l'extérieur avant la coupe. Ce petit corps est la *plante en miniature*; c'est le *germe* ou *embryon* :

1° La partie qui longe le haricot et qui se voit à l'extérieur est la *radicule*, c'est elle qui donnera naissance à la racine.

2° Les deux petites lames incolores appliquées sur le cotylédon constituent les deux premières feuilles de la *gemmule*, ce sont les deux premières futures feuilles de la jeune plante.

3° La partie qui réunit la *gemmule* à la *radicule* (celle qui réunit les cotylédons dans la graine entière) est la *tigelle*.

Quant aux deux grosses masses charnues ou *cotylédons* qui composent le haricot presque tout entier, ce sont de *véritables magasins à provisions* nécessaires au développement de la jeune plante tant que celle-ci ne sera pas capable de puiser dans sol et dans l'air les aliments nécessaires à son existence.

4. Les graines vivent; vie ralentie. — Les graines ne

---

1. Certaines graines n'ont qu'un cotylédon.

sont pas inertes, elles vivent, mais très lentement, on dit que leur vie est *ralentie.*

Comme les animaux *elles respirent, c'est-à-dire elles absorbent de l'oxygène et rejettent du gaz carbonique.*

Expérience I. — Mettre des graines dans un vase parfaitement fermé de manière que l'air ne puisse entrer (fig. 4); ne pas remplir complètement le vase. Au bout d'un certain temps (plusieurs mois), on constate dans ce vase la *présence du gaz carbonique*, une bougie qu'on y plonge s'éteint. Tout l'oxygène de l'air qui était dans ce vase non rempli a été absorbé.

Cette expérience montre le danger qu'il y a à entrer brusquement dans un *silo*[1] contenant beaucoup de graines : le gaz carbonique peut asphyxier[2].

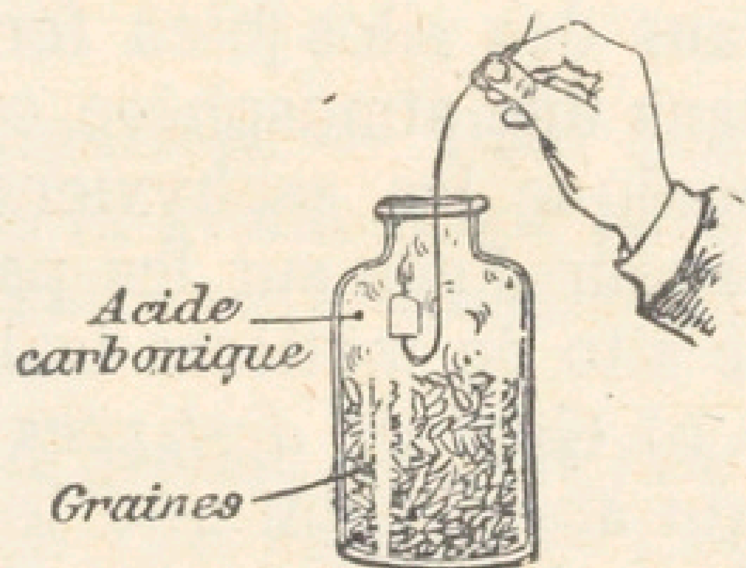


FIG. 4. — LES GRAINES RESPIRENT.

Des graines disposées dans un flacon dégagent du gaz carbonique pouvant éteindre une bougie.

Expérience II. — Si on continue l'expérience précédente, on constate dans le vase une odeur d'alcool; les graines, n'ayant plus d'oxygène à leur disposition, le prennent aux corps qui forment ses différentes parties, elles respirent, en un mot, aux dépens de leur propre masse.

Puis, enfin, *quand elles ne trouvent plus d'oxygène nulle part, elles meurent.*

Comme les animaux, les *grains rejettent de la vapeur d'eau* lorsqu'elles respirent : l'oxygène absorbé dans la respiration, brûlant le carbone de la graine, donne du gaz carbonique et, brûlant l'hydrogène, donne aussi de la vapeur d'eau.

Les graines ne peuvent vivre qu'aux dépens de leur matière : on constate en effet qu'elles subissent des pertes de poids.

D'après M. Müntz[3], ces pertes :

1° Augmentent avec la rapidité du renouvellement de l'air;

2° Elles sont bien plus abondantes à l'air libre que dans une atmosphère confinée[4];

3° Elles augmentent avec la température : on constate un dégagement de gaz carbonique plus élevé;

4° Elles augmentent avec l'humidité : plus la graine est humide et plus elle respire rapidement.

Conséquences pratiques. — Les faits que nous venons d'étudier nous indiquent comment il faut conserver les graines sui-

1. Fosse souterraine où l'on dispose les graines pour les conserver.
2. On a constaté plusieurs fois cet accident.
3. *Annales de l'Institut national agronomique*, t. IV.
4. L'atmosphère d'un vase clos, par exemple.

vant qu'elles sont destinées à la *consommation* ou à la *multiplication* de la plante :

a) *Graines destinées à la consommation.* — Ces graines n'étant pas destinées à la multiplication du végétal, peu importe qu'elles soient conservées vivantes, l'essentiel est qu'elles perdent le moins de matières utiles puisqu'elles sont destinées à la consommation ; on peut donc les dessécher (car plus elles sont humides plus il y a perte de matières) puis les conserver dans des silos bien fermés (car les pertes sont moins fortes dans une atmosphère confinée) sans se soucier si l'acide carbonique les asphyxiera. Pour éviter les condensations de la vapeur d'eau sur les parois froides du silo, il faut envelopper ce silo de matières isolantes (paille par exemple).

b) *Graines destinées à la multiplication.* — Dans ce cas, il faut absolument que les graines vivent pour pouvoir germer. Il est donc nécessaire de les conserver bien sèches et éviter de les placer dans une atmosphère confinée, dans des silos, parce qu'elles seraient asphyxiées ou malades.

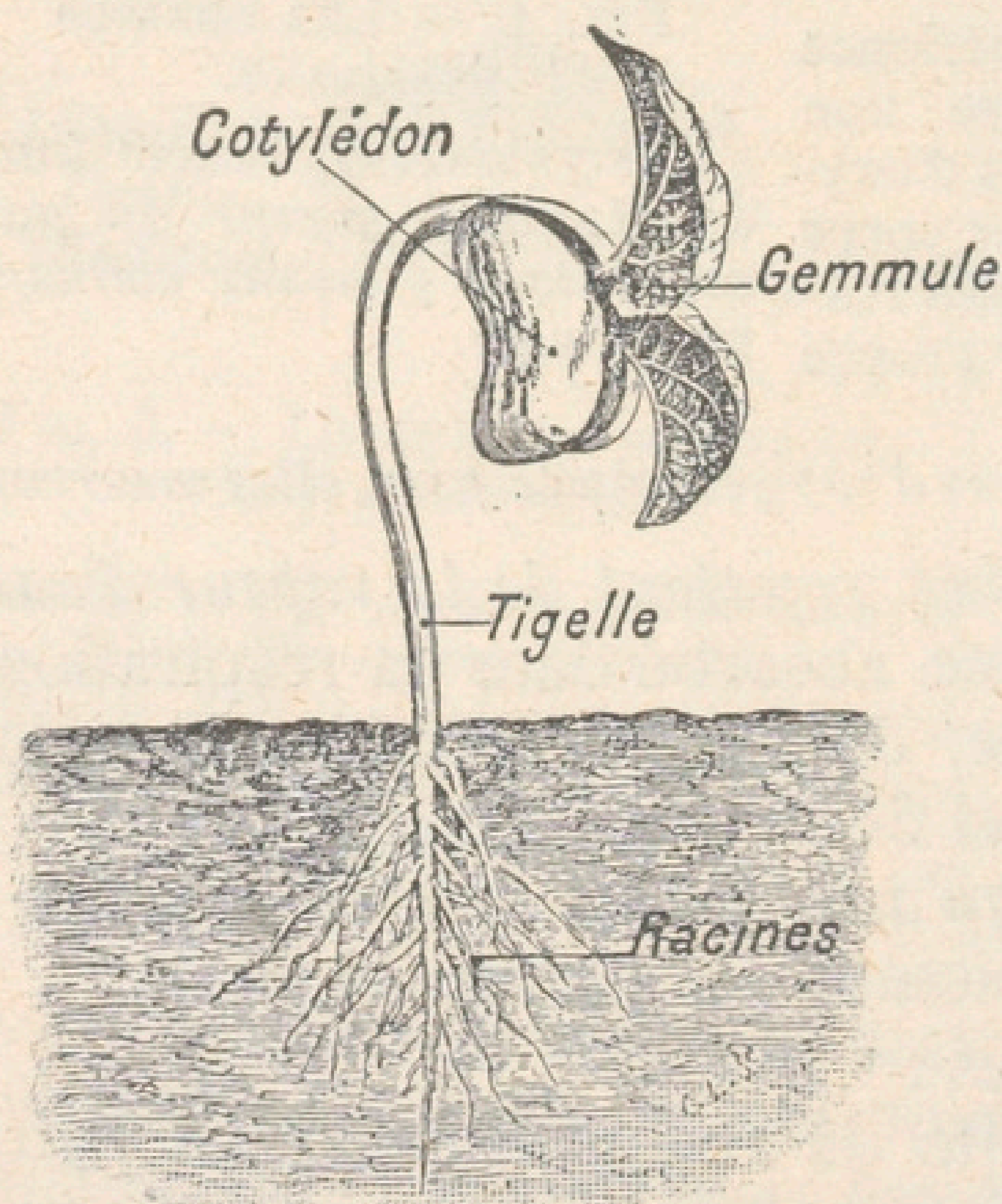


Fig. 5. — Germination d'une graine de haricot.

Les cotylédons nourrissent la jeune plante pendant que celle-ci émet ses premières racines et ses deux premières feuilles.

Pour les tenir sèches on les étale en couches minces de $0^m,20$ à $0^m,30$ de hauteur dans un local bien aéré. Pour faire disparaître l'humidité il faut pelleter les graines. Les pelletages doivent être d'autant plus fréquents que l'atmosphère est plus humide.

5. Comment la graine donne naissance à la plante; germination. — ***Expérience.*** — Dans un verre contenant du sable humide enfonçons à demi un haricot et abandonnons le tout dans une chambre (chaude si c'est en hiver[1]).

Au bout de quelques jours, la graine absorbant de l'eau, les enveloppes se déchirent et l'on voit sortir d'abord la *radicule*

1. Pour hâter la germination, il est bon de laisser le haricot séjourner 24 heures dans l'eau et, afin d'éviter, autant que possible, l'invasion des moisissures pendant la germination, il faut recouvrir d'une cloche le verre où germe le haricot.

qui s'enfonce dans le sable, puis les deux moitiés du haricot ou les *cotylédons* s'écartent l'un de l'autre et l'on voit apparaître, entre eux, deux lames vertes provenant de la *gemmule*. On dit que la graine germe.

Peu à peu ces lames, véritables petites feuilles, deviennent libres, s'épanouissent au-dessus des cotylédons qui ont été soulevés par l'allongement de la tigelle et sont à ce moment sortis du sable (fig. 5).

Dès lors la jeune plante est formée.

6. Conditions nécessaires à la germination. — Pour que la germination puisse se faire, il faut que la graine d'une part, le milieu dans lequel on met la graine d'autre part, satisfassent à un certain nombre de conditions.

I. **Conditions auxquelles doit satisfaire la graine.** — *a) Il faut que la graine soit bien constituée dans toutes ses parties.* — Les graines dont l'embryon ou germe a été enlevé par le battage ou par des insectes ne peuvent évidemment germer. Celles dont les réserves[1] ont été en *partie* détruites peuvent germer, mais ne donnent que des plantes chétives. Si les graines ne sont pas bonnes, on n'a qu'à les mettre dans l'eau pour distinguer les bonnes d'avec les mauvaises; les mauvaises, celles qui n'ont pas toutes leurs réserves, étant plus légères, surnagent et on peut les éliminer.

b) Il faut que les enveloppes de la graine soient perméables à l'eau. — Certaines graines n'arrivent pas à absorber de l'humidité après être restées dans l'eau pendant une dizaine de jours, grâce à leurs enveloppes dures, exemple : certaines légumineuses (les lotiers notamment). On peut, pour les faire germer, entamer les enveloppes sans détruire cependant l'embryon; il suffit de mélanger,par exemple, ces graines avec du sable fin et de remuer énergiquement pour que les enveloppes soient blessées par les arêtes vives du sable[2].

c) Il faut que la graine ayant atteint la maturité nécessaire pour germer ne l'ait pas perdue. — Beaucoup de graines ne sont pas mures *pour germer*, bien qu'elles soient arrivées à leur complet développement et qu'elles se détachent sans difficulté de la plante mère. Il leur faut encore un certain temps pour acquérir le pouvoir de germer. Le cerfeuil bulbeux, par

1. Réserves situées dans les cotylédons.

2. M. Schribaux, professeur à l'Institut national agronomique, indique encore un ébouillantage avec de l'eau chaude pendant quelques minutes. La durée de l'ébouillantage doit être déterminée par un essai préalable sur une petite quantité.

exemple, et la plupart des graines de fruits à noyaux commencent à germer seulement la deuxième année qui suit la récolte. Les brasseurs ne font pas germer l'orge indigène trop nouvelle, ils attendent cinq ou six mois.

Les graines ne gardent pas indéfiniment leur faculté de germer. M. Samek[1] a déterminé après 1, 2, 3, 4 et 5 ans la faculté germinative de graines conservées dans des sachets de papier et dans un local sec chauffé en hiver. Les résultats ont été les suivants :

GRAINES CONSERVÉES	SUR 100 GRAINES, ONT GERMÉ AU BOUT DE				
	1 an	2 ans	3 ans	4 ans	5 ans
Trèfle rouge (1er échantillon) .	94	96	95	89	82
— (2e —) .	85	83	81	80	65
Trèfle hybride	73	64	51	37	15
— blanc	74	72	63	52	50
Sainfoin	87	92	78	61	54
Luzerne	98	95	98	81	79
Ray-grass d'Italie.	74	68	70	60	55
Fétuque des prés.	72	66	61	55	32

Dans d'autres expériences, sur 100 graines de chaque espèce, très pures, conservées pendant 11 ans dans des bocaux de verre, on a trouvé comme graines pouvant germer : maïs de Padoue 56, avoine 25, orge 28, blé 0, seigle 0, lin 0, luzerne 60.

En général, les graines ayant une enveloppe imperméable vivent très longtemps. M. Schribaux cite le cas de graines de moutarde jaune extraites des débris de démolition d'une chapelle vieille de trois siècles au moins, ayant germé normalement.

La plupart des graines de nos plantes cultivées vivent plusieurs années à la condition d'être *bien sèches*.

On voit que le cultivateur a tout intérêt, quand il achète ses semences, à les soumettre à un contrôle[2] afin de s'assurer qu'un vendeur peu scrupuleux n'a pas joint à de bonnes graines de vieilles graines incapables de germer.

II. ***Conditions auxquelles doit satisfaire le milieu dans lequel on met la graine***. — *a*) *Influence de l'air*. — Les graines privées de l'oxygène de l'air ne peuvent germer, on le comprend très bien, puisqu'elles respirent (voir expérience I, p. 11).

---

1. *Annales agronomiques*, t. XV, p. 432.
2. Faire des essais de germination. Ces essais se font (à des prix extrêmement bas) à la station d'essais de semences, 16, rue Claude-Bernard (Institut national agronomique).

b) *Influence de l'humidité.* — L'humidité est nécessaire à la graine pour ramollir les enveloppes qui doivent se rompre et livrer passage à la jeune plante. L'eau joue également dans la graine un rôle de dissolvant et permet ainsi certaines réactions chimiques[1].

Certains cultivateurs croient qu'un excès d'humidité est nuisible à la germination. C'est une erreur. Des graines entièrement plongées dans l'eau peuvent parfaitement germer, à *la condition toutefois que cette eau soit aérée et contienne par conséquent de l'oxygène*, ainsi que le montre l'expérience de Déhérain (fig. 6).

Expérience I. — Des graines sont disposées dans une série de tubes où circule très lentement un courant d'eau.

Les graines du 1er tube étant dans de l'eau aérée germent parfaitement; quelques-unes du 2e tube germent parce qu'elles trouvent encore dans l'eau un peu d'oxygène laissé par les graines du 1er tube. Mais les graines du dernier tube recevant de l'eau ne contenant plus d'oxygène ne peuvent germer : elles finissent par pourrir.

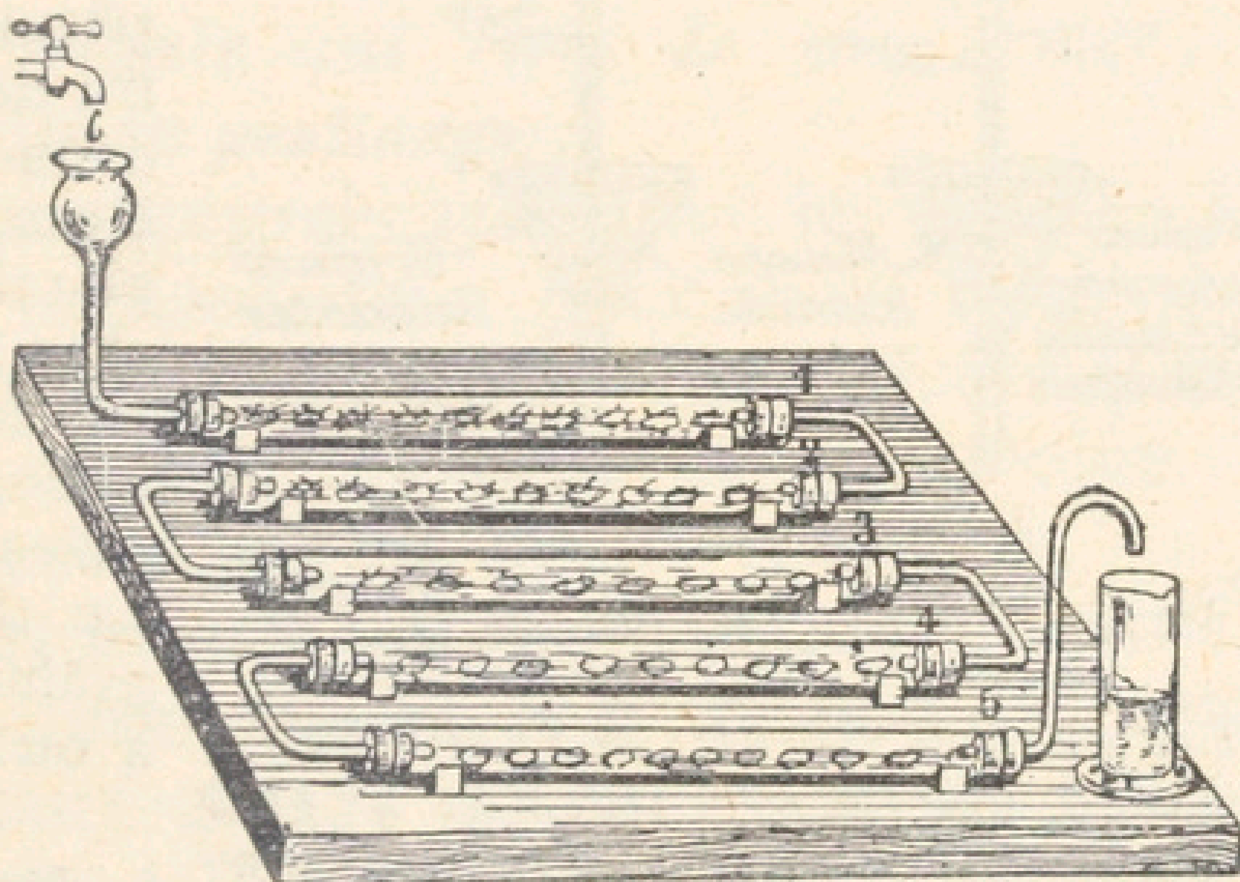


FIG. 6. — EXPÉRIENCE DE DÉHÉRAIN.
Montrant que des graines entièrement plongées dans l'eau peuvent germer à la condition que cette eau soit aérée.

Expérience II. — On peut aussi mettre des graines dans un verre et remplir d'eau celui-ci. Les semences de la surface germent, mais celles du fond, privées d'oxygène sont asphyxiées et pourrissent au bout de quelque temps. En renouvelant l'eau plusieurs fois par jour pour qu'elle reste aérée la germination de toutes les graines se produit.

c) *Influence de la température.* — Les graines mises dans le sol à l'automne (des grains de blé, par exemple) ou au printemps commencent à germer à partir de 1 degré au-dessus de zéro; les embryons poussent sous la neige si la terre qui reçoit cette neige a une température supérieure à 4 degrés.

Les graines originaires des pays méridionaux, filles d'autres graines habituées à des températures relativement élevées (haricot, maïs, sorgho, lupin, tabac, etc.), ne commencent à germer qu'à partir de 8 à 10 degrés.

Pour les graines employées en agriculture, la température la plus favorable est voisine de 25 à 28 degrés. Plus on se rap-

1. Notamment l'action des diastases.

proche de cette température, plus la durée de la germination est courte.

A partir de 35 à 38 degrés la germination devient impossible.

7. Phénomènes qui accompagnent la germination. — Lorsque les graines germent, la respiration est très active et il se produit un dégagement de chaleur relativement élevé.

Expérience I. — Mettre des graines dans un entonnoir en verre, après les avoir trempées dans de l'acide phénique pour les tuer (fig. 7). Mettre des graines en train de germer dans un autre entonnoir en verre. Recouvrir les 2 entonnoirs avec un peu de mousse humide pour empêcher le dessèchement. Placer au centre des 2 entonnoirs 1 thermomètre et comparer leurs indications avec celles d'un thermomètre à l'air libre. Le thermomètre plongé dans les graines en germination peut marquer 4 ou 5 degrés de plus.

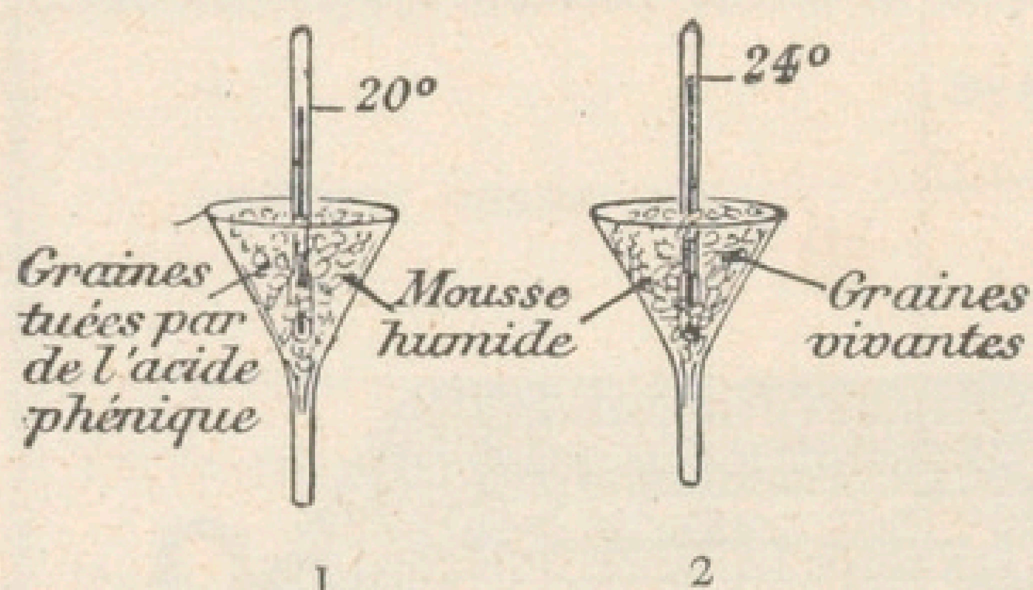


FIG. 7. — LES GRAINES EN GERMANT DÉGAGENT DE LA CHALEUR.

Les graines vivantes de l'entonnoir 2 donnent une température de 4° plus élevée que les graines mortes qui ne germent pas dans l'entonnoir 1.

Pendant la germination il se produit, en même temps qu'un dégagement de chaleur, un dégagement de gaz carbonique provenant, ainsi que nous l'avons vu, de la respiration :

Expérience II[1]. — Mettre des graines en germination dans un entonnoir et placer l'entonnoir au-dessus d'un flacon (fig. 8), le gaz carbonique formé, étant très lourd, coule dans l'intérieur du flacon et s'y accumule.

Au bout d'un certain temps lorsqu'il y a assez d'acide carbonique, on peut verser le gaz sur la flamme d'une bougie et l'éteindre.

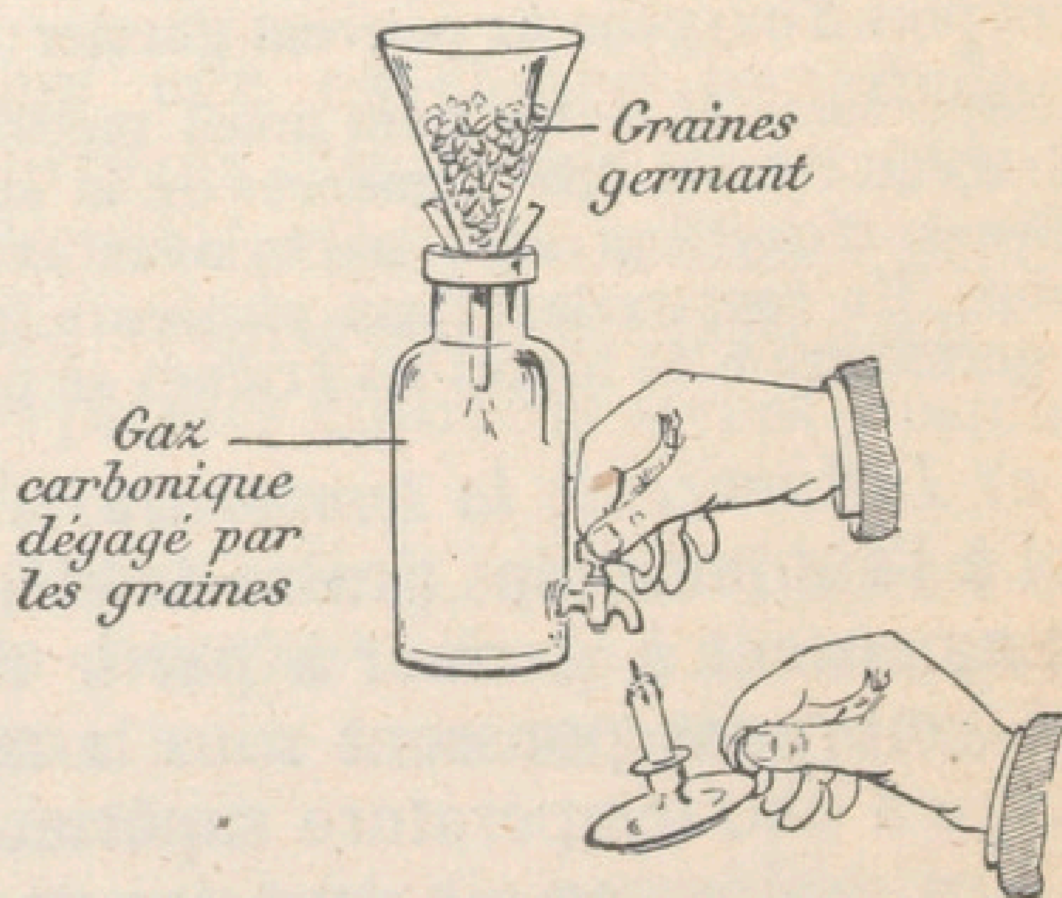


FIG. 8. — LES GRAINES EN GERMANT DÉGAGENT DU GAZ CARBONIQUE.

Le gaz carbonique s'accumulant dans le flacon peut éteindre une bougie.

8. L'agriculteur a-t-il besoin d'intervenir pour nourrir la jeune plante tant que celle-ci a des réserves? — Nous venons de voir que l'embryon (du haricot) qui a ses cotylédons comme nourriciers se développe très bien, même dans du sable où il ne trouve aucun aliment. Les graines demandent simplement au sol d'être aéré,

1. Expérience de M. Schribaux.

chaud et suffisamment humide; elles ne lui demandent aucun aliment, la preuve est qu'on peut faire germer des graines dans du verre pilé, sur des éponges, sur du papier buvard imbibé d'eau.

Le papier buvard imbibé d'eau est même la meilleure substance que l'on puisse employer quand on veut faire des essais de germination.

Quelques agriculteurs ont cependant l'habitude d'*additionner leurs semences de diverses matières minérales ou engrais destinés à nourrir la jeune plante qui vient de se former*; ils pratiquent ce qu'on appelle le **pralinage :**

Le *sulfate d'ammoniaque* (engrais azoté) tue les graines à la dose de 5 millièmes; à la dose de 2 pour 1000, il empêche encore la germination du colza, du trèfle, des haricots et n'arrête pas la germination du blé, de l'orge et de l'avoine. Le *nitrate de soude* aux mêmes doses est moins vénéneux.

Un certain nombre d'agronomes ont reconnu que les matières alcalines favorisent la germination et la rendent plus rapide; tels sont le *purin*, toujours chargé de carbonate de potasse, la *chaux éteinte*, les *scories de déphosphoration Thomas* (riches en chaux).

M. Boettger[1] a reconnu que des dissolutions très étendues d'ammoniaque, de potasse ou de soude activent la germination.

Pourquoi les matières alcalines agissent sur la germination :

Expérience. — Faire germer des graines sur du papier bleu de tournesol humide; les radicelles de la jeune plante laissent des traces rouges sur le papier; ce qui indique que pendant la germination il se forme des acides. Or les *acides gênent la germination :* en effet, si on ajoute des dissolutions d'acides, même très faibles, au sable dans lequel on fait germer des graines, elles retardent et arrêtent souvent la germination.

On conçoit, dès lors, que les matières alcalines, en neutralisant les acides formés, puissent favoriser la germination.

D'après M. Schribaux, tous les produits que le commerce vend aux agriculteurs sous le nom de *germinateurs*, *vigorisateurs*, *excitateurs végétaux* pour accélérer la germination (produits dont on asperge les semences après les avoir dissous dans l'eau), ont une action parfois nulle et sont presque toujours nuisibles.

Pour accélérer la germination, le procédé le plus simple, le seul qui ait fait réellement ses preuves est le suivant[2] :

---

1. *Annales agronomiques*, t. XXII. p. 131.

2. Ce procédé est cité par M. Schribaux, professeur à l'Institut national agronomique, directeur de la Station d'essais de semences.

« Les semences sont trempées dans l'eau ordinaire pendant douze à vingt-quatre heures (le temps nécessaire à l'eau pour pénétrer à peu près jusqu'au centre de l'amande), on les abandonne ensuite en tas dans un local à la température de 15 à 20 degrés et, pour que les semences respirent convenablement, on prend le soin de déplacer le tas matin et soir, et de l'asperger légèrement quand la masse paraît se dessécher. On exécute les semailles deux ou trois jours avant la sortie de la radicule. Ce procédé si simple est trop peu connu, malgré les services qu'il pourrait rendre, notamment avec des semences à germination lente, telles que la carotte, la betterave, les conifères etc., ou celles qui, en raison de leur volume (fèves, féveroles, haricots, pois), mettent plusieurs jours pour absorber l'eau nécessaire à la germination. »

9. Germination des tubercules et des bulbes. — La *germination des tubercules et des bulbes* présente des caractères analogues à ceux de la germination des graines. Le tubercule de pomme de terre, comme les cotylédons, sont des magasins à réserve où la plante puise tous les aliments nécessaires à la formation des organes nouveaux, il s'y produit des phénomènes de combustion comme dans la graine.

L'*évolution des bourgeons*, chez les plantes vivaces, se rapproche aussi de la germination; les réserves qu'elle utilise au début de la végétation annuelle sont des réserves faites l'été précédent et logées dans certains vaisseaux de l'écorce. L'existence de ces réserves est surtout très utile dans les rameaux qui doivent servir de greffons ou de boutures; ce sont ces réserves qui nourrissent les jeunes pousses émises par les bourgeons, en attendant la formation des racines qui doivent prendre la nourriture du sol. Comme les feuilles, ainsi que nous le verrons, sont les véritables laboratoires où se préparent toutes ces réserves, on comprend que les viticulteurs, par exemple, ne doivent prendre de rameaux boutures ou greffons que dans une vigne où les feuilles n'ont pas été détruites avant l'automne par certaines maladies cryptogamiques (mildiou), afin d'être assurés que les sarments sont bien pourvus de réserves.

CHAPITRE III

ORIGINE ET ASSIMILATION DU CARBONE, DE L'OXYGÈNE, DE L'HYDROGENE ET DE L'AZOTE

I. ORIGINE ET ASSIMILATION DU CARBONE

10. Dans quel milieu et comment les plantes prennent le carbone qui leur est nécessaire. — Nous avons vu (page 3), que, lorsqu'on brûle une plante, le carbone que renferme cette plante se combine avec l'oxygène de l'air pour former du gaz carbonique qui se dégage.

Le carbone est un des aliments les plus importants pour la plante. Il entre dans la composition de toutes les matières organiques que nous avons étudiées en chimie organique et dont la plupart existent dans la plante. Il est associé à l'oxygène, à l'hydrogène et quelquefois à l'azote. Certaines matières organiques ne renferment pas d'hydrogène, d'autres pas d'oxygène, mais toutes renferment du carbone.

Le carbone est pris dans l'air par une matière verte, appelée *chlorophylle*, contenue dans les feuilles. Les feuilles, en effet, grâce à cette matière verte, décomposent l'acide carbonique de l'air, absorbent le carbone et rejettent l'oxygène. Cette décomposition du gaz carbonique et cette absorption de carbone ne se font que sous l'action de la lumière du soleil, elles ne se produisent pas la nuit[1].

Expérience I. — Placer une plante verte dans une éprouvette remplie d'eau ordinaire à laquelle on a ajouté une petite quantité d'eau de Seltz pour

1. Les plantes prennent du carbone au sol en absorbant, à l'aide de leurs racines, des carbonates ou des liquides tenant en dissolution du gaz carbonique ou même, comme le fait remarquer M. Schlœsing, des substances organiques. Certains savants (MM. Laurent, Malliard, etc.) ont montré que les racines peuvent absorber le glucose, l'acide tartrique, l'acide malique, etc., corps qui contiennent du carbone en combinaison, et que cette source de pénétration du carbone peut être importante.

lui donner du gaz carbonique, puis exposer le tout au soleil (fig. 9). On voit de petites bulles de gaz se dégager des feuilles et se rassembler au sommet de l'éprouvette. Lorsque la quantité de gaz dégagé est assez grande on le recueille et on constate qu'il rallume une allumette presque éteinte : c'est de l'*oxygène*.

Si on a attendu quelques heures, on constate en même temps que l'eau de l'éprouvette ne contient plus de gaz carbonique en dissolution car l'eau de chaux n'est pas troublée.

Si on fait la même expérience à l'obscurité on constate qu'il n'y a pas de dégagement de gaz.

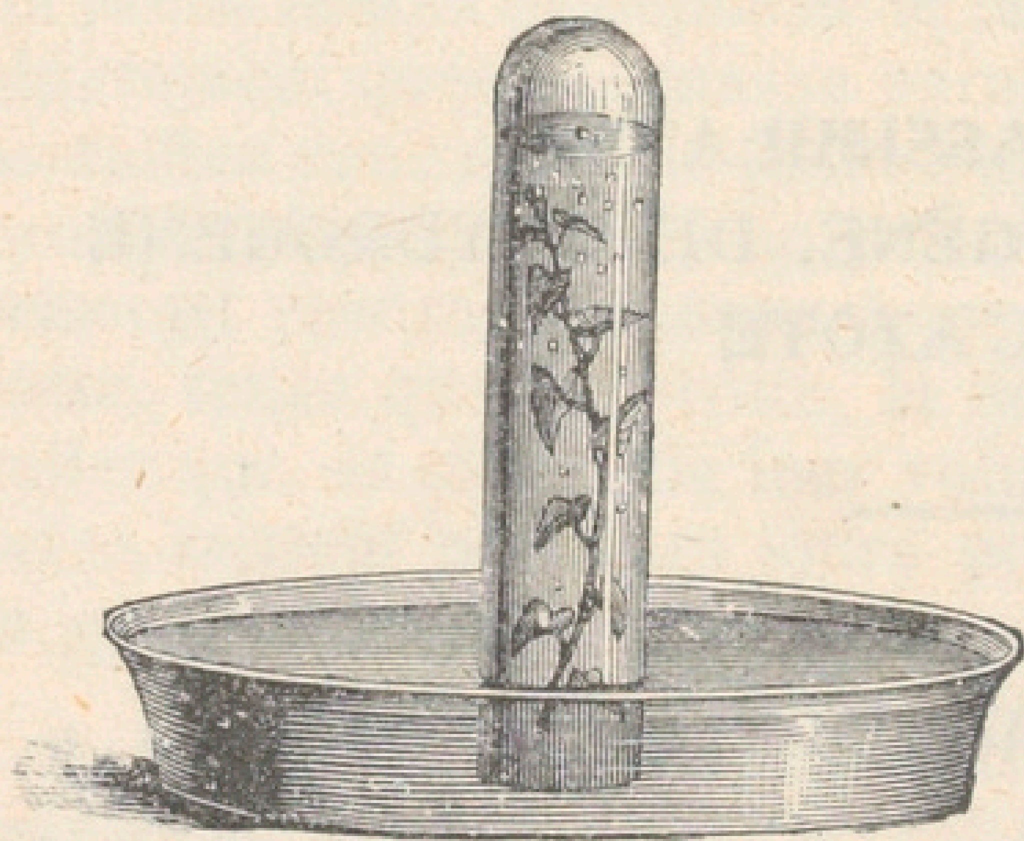


FIG. 9. — ASSIMILATION DU CARBONE. *Éprouvette renfermant un rameau vert, exposée au soleil, pour montrer que les feuilles absorbent de l'acide carbonique et dégagent de l'oxygène. L'oxygène vient se rassembler à la partie supérieure de l'éprouvette.*

Expérience II. — Mettre sous une cloche un oiseau avec une plante verte, fermer hermétiquement et placer le tout à l'obscurité. L'oiseau ainsi que la plante, respirent, c'est-à-dire absorbent de l'oxygène et dégagent de l'acide carbonique. L'oiseau donne bientôt des signes d'inquiétude, il respire mal et, si l'expérience se prolonge, il tombe asphyxié. Avant que l'oiseau ne soit asphyxié porter la cloche au soleil. Immédiatement la plante décompose le gaz carbonique formé, elle absorbe le carbone et rejette l'oxygène qui ranime l'oiseau; on voit celui-ci respirer de mieux en mieux.

Si au lieu de mettre une plante verte sous la cloche, on mettait un champignon, qui ne possède pas de chlorophylle, l'oiseau périrait asphyxié.

Les feuilles qui ne contiennent pas de matière verte (chlorophylle) ou qui sont maintenues dans l'obscurité ne peuvent pas se nourrir du carbone tiré de l'acide carbonique de l'air.

Quand on laisse une plante séjourner plusieurs jours à l'obscurité, non seulement elle ne peut pas décomposer le gaz carbonique de l'air et absorber le carbone dont elle a besoin, mais encore la matière verte que contiennent les feuilles se détruit peu à peu et la plante jaunit, *elle s'étiole*. Les plantes décolorées par un long séjour dans l'obscurité sont dites étiolées.

Ce que la feuille fait du carbone que la chlorophylle lui fournit. — Elle en fabrique, avec les autres matières premières qui viennent du sol et de l'air, toute la nourriture nécessaire à la plante (voir page 45.) C'est ce qui a fait dire que la feuille est un *véritable laboratoire, une véritable cuisine pour la préparation des aliments dont la plante se nourrit.*

II. ORIGINE ET ASSIMILATION DE L'OXYGÈNE ET DE L'HYDROGÈNE DES PLANTES — RESPIRATION

11. Dans quels milieux et comment les plantes prennent l'oxygène et l'hydrogène qui leur sont nécessaires. — ***Les plantes,*** comme les animaux, ***respirent,*** *elles absorbent l'oxygène de l'air et dégagent du gaz carbonique.*

Expérience. — Placer dans l'obscurité ou à l'ombre, sous une cloche, une plante et à côté d'elle un vase contenant de l'eau de chaux ou de l'eau de baryte (fig. 10). Au bout d'un certain temps on constate que l'eau de chaux se trouble[1]. Une deuxième cloche ne contenant pas de plante verte, mais, comme la première, un vase plein d'eau de chaux ou d'eau de baryte peut servir de témoin : l'eau de chaux ne se trouble pas.

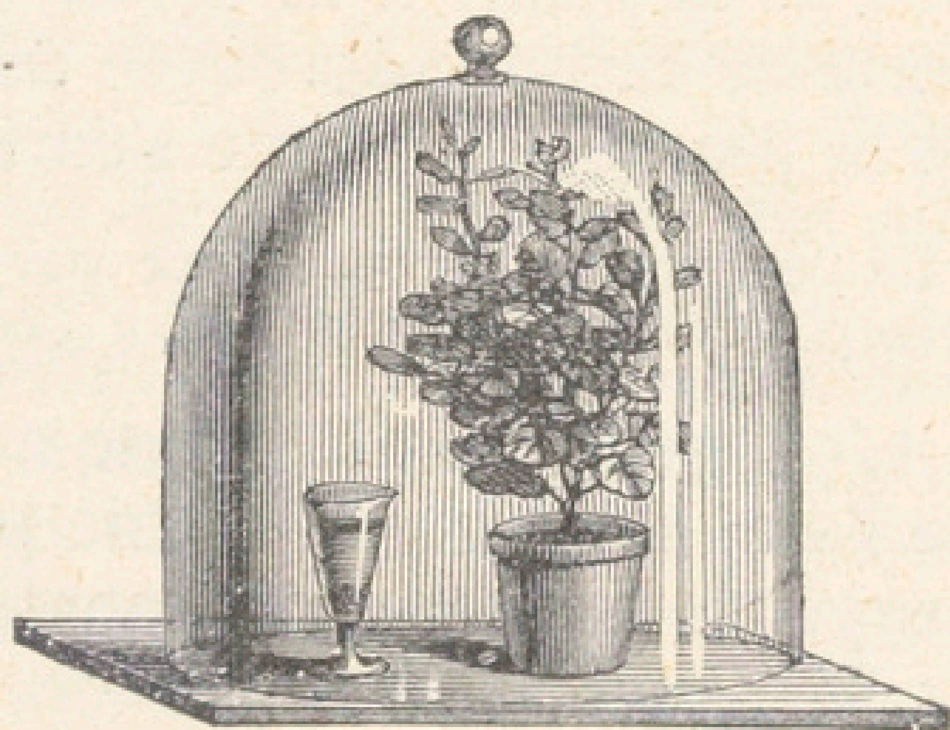


FIG. 10. — EXPÉRIENCE MONTRANT QUE LES PLANTES DÉGAGENT DE L'ACIDE CARBONIQUE

Le verre, placé sous la cloche à côté de la plante, contient de l'eau de chaux qui se trouble par suite de la formation de carbonate de calcium

Les feuilles, comme toutes les autres parties de la plante, respirent; néanmoins, grâce à leur grande surface relative, les feuilles respirent avec plus d'énergie que les autres membres de la plante.

Les plantes respirent aussi bien le jour que la nuit, mais, quand elles sont exposées à la lumière, le phénomène de la respiration est masqué parce que les feuilles, ainsi que nous l'avons vu, consomment à ce moment l'acide carbonique de l'air et rejettent de l'oxygène.

Néanmoins, l'expérience ci-dessus peut être faite à la lumière; on constate alors que l'eau de baryte se trouble également sous l'action de l'acide carbonique. Donc, même à la lumière, quand elle assimile le carbone de l'acide carbonique qui l'entoure, la plante respire[2].

Balance du carbone gagné par l'assimilation due à la chlorophylle et du carbone perdu par la respiration. — Au début du jour, la lumière étant faible, la respiration l'emporte sur l'assimilation du carbone : on constate alors, comme pendant la nuit, mais avec atténuation, une absorption d'oxygène et un dégage-

---

1. Le gaz carbonique trouble l'eau de chaux (voir Chimie générale, p. 94. Expérience 4).
2. Expérience de Garreau.

ment de gaz carbonique. Lorsque l'intensité de la lumière augmente, l'assimilation du carbone contrebalance la respiration; en plein jour, quand la lumière est vive, c'est l'assimilation qui l'emporte et l'on constate l'absorption du gaz carbonique et un dégagement d'oxygène.

A la fin de la journée, l'assimilation commence à cesser; puis la respiration se produit seule quand la nuit est complète.

Si l'assimilation du carbone par la chlorophylle compensait juste la perte du carbone produite par la respiration, la plante n'augmenterait pas en poids; mais la première heure d'exposition de la plante à la pleine lumière du jour suffit à réparer la perte de carbone éprouvée pendant la nuit. Pendant tout le reste de la journée, la plante s'enrichit en carbone.

La quantité de carbone fixée par une récolte fourragère en prairie naturelle peut être évaluée de 1500 à 4500 kilogrammes par hectare.

L'oxygène dont la plante a besoin ne provient pas seulement de l'air; une certaine partie provient de l'eau ainsi que des sels oxygénés (sulfates, phosphates, azotates) que la plante absorbe par ses racines.

Les végétaux empruntent leur *hydrogène* à l'eau :

Boussingault a cultivé des plantes *dans un sol* ne contenant pas trace de matière organique, ne renfermant que des substances minérales exemptes d'hydrogène et arrosées avec de l'eau distillée. Les plantes en expérience ont acquis de l'hydrogène, cet hydrogène ne pouvait évidemment avoir été pris qu'à l'eau employée.

III. ORIGINE ET ASSIMILATION DE L'AZOTE

12. Où et comment les plantes prennent l'azote qui leur est nécessaire. — Les plantes, comme tous les êtres vivants, contiennent des matières organiques azotées en grande quantité, constituées à la fois par du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote : telles sont les matières albuminoïdes abondantes dans les graines et qui les font employer dans l'alimentation; le gluten du blé, la légumine du haricot, la caséine du pois, etc.

Nous avons vu (page 4, expérience II) comment on constate la présence de l'azote dans les plantes.

Les matières azotées que les végétaux renferment sont l'unique source de l'azote dont l'homme et les animaux ont besoin. On comprend dès lors l'importance de ce corps au point de vue agricole.

La plante prend l'azote :

1° *Aux nitrates que contiennent les sols et l'air;*

2° *Aux sels ammoniacaux que contiennent les sols et l'air;*

3° *Aux matières organiques azotées du sol;*

4° *A l'air, qui en renferme les quatre cinquièmes de son volume.*

Très souvent, en agriculture, on emploie les expressions *azote libre, azote nitrique, azote ammoniacal, azote organique.*

L'azote libre est celui que l'air contient.

L'azote nitrique est l'azote qui entre dans la composition des nitrates (le nitrate de soude employé comme engrais, le nitrate de potasse, le nitrate de chaux).

L'azote ammoniacal est l'azote qui entre dans la composition de l'ammoniaque (l'ammoniaque, nous l'avons vu, est un composé hydrogéné de l'azote AzH^3), ou des sels ammoniacaux tels que le sulfate d'ammoniaque employé comme engrais azoté.

L'azote organique est l'azote qui entre dans la composition des matières organiques, telles que le fumier, le sang, la corne, le cuir, etc., employées comme engrais azotés, les résidus végétaux, racines de plantes mortes, débris de feuilles et de tiges. Toutes ces matières organiques, sous l'influence de l'oxygène, de l'humidité et surtout de microorganismes, se transforment, comme nous le verrons, en *humus* (p. 57).

13. Assimilation de l'azote nitrique (ou azote des nitrates). — Tous les agronomes reconnaissent que les nitrates agissent avec efficacité sur le développement des plantes.

C'est en 1856 que Boussingault et Georges Ville ont montré, par des expériences précises, l'influence que les nitrates exercent sur la végétation.

Plus tard, MM. Hellriegel et Vilfarth, cultivant des graminées sur du sable additionné de doses variées de nitrate de calcium[1], ont montré que le poids de la récolte était sensiblement proportionnel aux quantités d'azote apportées par le nitrate.

Expériences de MM. Hellriegel et Wilfarth sur l'orge Chevalier. — De l'orge a été cultivée dans du sable stérile. Dans chaque vase en verre contenant 4^{kg},600 de sable on maintenait de 8 à 15 pour 100 d'humidité, on ajoutait 4 grammes de carbonate de chaux et une solution renfermant[2] :

Phosphate de potasse	0^g,544
Chlorure de potassium	0^g,149
Sulfate de magnésie	0^g,240

1. Appelé encore azotate de calcium ou azotate de chaux ou nitrate de chaux.

2. Les expérimentateurs étaient obligés de mettre dans le sable stérile tous les éléments (autres que l'azote fourni par le nitrate de calcium) nécessaires au développement des plantes, tels que : acide phosphorique sous forme de phosphate, potasse, magnésie, etc.

Chaque vase recevait des doses variées de nitrate de calcium.
Les résultats obtenus ont été les suivants :

POIDS DU NITRATE de calcium employé	AZOTE INTRODUIT dans la plante par le nitrate de calcium	NOMBRE DES ÉPILLETS qu'obtient la plante	NOMBRE DE GRAINES	MATIÈRE SÈCHE totale	POIDS MOYEN du grain
gr.	gr.			gr.	milligr.
1,968	0,336	470	306	29,343	33,9
1,312	0,224	311	263	21,074	30,8
0,984	0,168	241	194	16,388	31,8
0,656	0,112	147	124	10,805	32,8
0,328	0,056	108	78	5,594	27,9
0,164	0,028	51	43	2,995	24,2
0,000	0,000	10	8	0,508	14,7
0,000	0,000	11	3	0,415	14,8

Il est à remarquer que, dans cette experience, aucune des plantes sans azote n'a donné la moindre pousse.

« Cet état d'inanition, ou, dans ce cas, « la faim d'azote » disent MM. Hellriegel et Wilfarth, se manifeste par un ensemble caractéristique de symptômes : lorsque les matériaux de la graine sont épuisés, c'est-à-dire habituellement pendant la formation de la 3ᵉ feuille, la plante continue à végéter à peu près aussi longtemps que les plantes normalement nourries, elle développe tous ses organes jusqu'aux fruits, mais sous une forme naine; en réalité elle ne produit pas de matière nouvelle, puisque chaque nouvel organe s'accroît aux dépens de la feuille la plus âgée qui se vide et se dessèche. »

MM. Berthelot et André ont démontré que presque tous les végétaux contiennent des azotates au moins pendant une certaine période de leur végétation. Les betteraves fourragères, le sorgho contiennent quelquefois des quantités de nitrates assez considérables, au point d'incommoder les animaux qui les consomment. Les racines du blé en font des réserves assez fortes pendant l'hiver et au début du printemps.

14. Assimilation de l'azote ammoniacal[1]. — Les opinions des agronomes concernant l'assimilation de l'azote ammoniacal par les plantes ont été pendant longtemps assez divergentes. Depuis les expériences de M. Mazé venant confirmer celles faites antérieurement par M. Müntz, la grande majorité des agronomes admettent que l'azote ammoniacal (sous forme de sels ammoniacaux, notamment de sulfate d'ammoniaque) est directement assimilable par les plantes.

1. Sous forme de *nitrate d'ammoniac* produit dans l'atmosphère et entraîné dans le sol par les pluies, sous forme surtout de *sulfate d'ammoniac* très employé comme engrais.

M. Müntz a, en effet, cultivé diverses plantes dans de la terre stérilisée et privée de nitrates. L'addition de sulfate d'ammoniaque permit d'obtenir des cultures très satisfaisantes d'orge, de maïs, de chanvre etc. A la fin des expériences on s'assura que la terre ne renfermait pas de nitrates pouvant provenir de la transformation du sulfate d'ammoniaque. Les plantes, comme aliment azoté, n'avaient donc vécu que d'azote ammoniacal.

Cette question, au point de vue pratique, n'est pas aussi importante qu'on pourrait le croire, car nous verrons que les sels ammoniacaux, dans les sols, sont rapidement transformés en nitrates sous l'action d'un ferment; et nous savons maintenant que les nitrates sont parfaitement utilisés par les plantes.

15. Assimilation de l'azote organique. — Sur cette question les agronomes ne sont pas absolument d'accord. Les uns pensent que les plantes absorbent directement l'azote organique, les autres, moins nombreux, pensent le contraire.

Divers expérimentateurs (Pétermann, Bréal) ont réalisé au laboratoire l'absorption directe de l'azote organique par les plantes. Bien que leurs expériences aient été faites dans des conditions particulières, différentes de celles auxquelles sont soumises les récoltes, on peut admettre en tenant compte également des expériences de M. Griffon, que les plantes peuvent utiliser une partie des matières organiques azotées du sol (l'azote organique de l'humus, humates, etc.).

Dans tous les cas, cette question, au point de vue pratique, est peu importante, car, ainsi que nous le verrons, l'azote organique se transforme peu à peu, sous l'action d'un ferment, en azote ammoniacal; l'azote ammoniacal, à son tour, se transforme, sous l'action d'un nouveau ferment, en azote nitrique parfaitement assimilable par les plantes.

16. Assimilation de l'azote libre de l'air. — De nombreuses observations ont toujours démontré aux praticiens que l'azote libre de l'air doit contribuer à la nourriture de la plante :

1° Les forêts, par exemple, ne reçoivent jamais aucun engrais; les bois que l'on enlève à chaque coupe font disparaître de la forêt des quantités notables d'azote, cependant la forêt conserve indéfiniment sa fertilité;

2° Les prairies de haute montagne ne reçoivent jamais d'autre fumure que les déjections des animaux qui y pâturent l'été; chaque année, des quantités considérables d'azote sont enlevées par suite de l'herbe mangée. Cependant, quand on analyse les sols de ces prairies, on constate qu'ils sont très riches en azote. Il faut donc bien que cet azote soit pris à l'air;

3° Quand on détermine, pendant plusieurs années, la quantité

d'azote apportée à une terre en culture par une fumure réduite, puis la quantité d'azote enlevée par les récoltes, on s'aperçoit que les récoltes enlèvent plus d'azote que n'en fournissent les fumures.

Pendant longtemps cependant, les agronomes n'arrivèrent pas à démontrer, par l'expérience, cette assimilation de l'azote libre. Les expériences de Boussingault et de Georges Ville, pour élucider la question, donnèrent lieu, vers 1850, à des discussions fameuses que nous ne pouvons reproduire dans cet ouvrage, malgré tout leur intérêt. Boussingault, à la suite d'expériences délicates, prétendit que l'azote libre de l'air n'est pas assimilé par les plantes; G. Ville prétendit le contraire, avec expériences contradictoires à l'appui. Comme on était dans l'impossibilité de constater nettement l'assimilation ou la non-assimilation on chercha à *expliquer les gains d'azote de la végétation en faisant intervenir l'ammoniaque qui se trouve dans l'air.*

G. Ville, puis Schlœsing, constatèrent qu'en moyenne, 100 mètres cubes d'air renferment un peu plus de 0 gr. 002 d'ammoniaque associée, soit à de l'acide azotique formé pendant les orages [1], soit surtout à de l'acide carbonique. Schlœsing reconnut aussi, par des expériences de laboratoire, que le gaz ammoniac donné en proportion sensible est utilisé par les végétaux.

Mais on fut obligé de reconnaître, après de nombreuses expériences, que l'ammoniaque, tirée de l'air et apportée par les eaux de pluie sous forme de nitrate ou de carbonate d'ammoniaque, est en quantité insuffisante pour exercer une influence importante sur la végétation.

La question en était là, *lorsque Berthelot, en* 1885, *démontra que les terres médiocrement riches en azote fixent l'azote de l'air par l'intermédiaire de microorganismes* :

Ces terres, en effet, s'enrichissent en azote quand elles sont abandonnées à elles-mêmes; elles cessent de s'enrichir si elles ont été portées tout d'abord à une température suffisante pour tuer les germes des êtres vivants qu'elles renferment.

Ces microbes fixent eux-mêmes l'azote de l'air; après leur mort leur matière organique azotée se décompose, l'azote organique se transforme en azote ammoniacal puis en azote nitrique directement utilisable par les plantes.

Une année après, MM. *Hellriegel et Wilfarth* firent enfin connaître leurs expériences célèbres devant faire la lumière sur la question qui passionnait les agronomes :

Expériences de MM. Hellriegel et Wilfarth. Fixation de l'azote de l'air par les légumineuses. — Les expériences portèrent sur la végétation de diverses espèces cultivées dans des vases ren-

1. Par l'union directe de l'azote et de l'oxygène de l'air sous l'influence des étincelles électriques produites pendant les orages (azotate d'ammoniac).

fermant $4^{kg},600$ de sable stérilisé additionné d'un mélange de : phosphate de potasse, chlorure de potassium, sulfate de magnésie.

Chaque vase reçut des doses variées de nitrate de calcium. Les plantes cultivées étaient des graminées (orge, avoine) et des légumineuses (pois, sainfoin, lupin). On remarqua que pour les graminées (orge, avoine), les nitrates exerçaient une influence très marquée. Comme nous l'avons décrit, p. 19, à propos de l'assimilation des nitrates, les plantes d'orge et d'avoine qui ne reçurent pas de nitrates restèrent extrêmement chétives et n'arrivèrent à prendre leur forme naine que grâce aux réserves d'azote existant déjà dans la graine.

L'orge et l'avoine ne puisent donc leur azote que dans les nitrates ajoutés au sol stérile.

Pour les légumineuses (pois, sainfoin, etc.), il n'en est pas de même ; ces plantes acquièrent souvent un développement normal, quelquefois même très important et, contrairement à ce qui arrive pour les graminées, l'augmentation ou la diminution de la proportion des nitrates distribués n'entraîne ni un accroissement, ni un amoindrissement régulier de la récolte.

MM. Hellriegel et Wilfarth mirent dans une série de vases contenant du sable stérilisé par le feu puis, préparé comme nous l'avons indiqué ci-dessus, des légumineuses différentes. Quelques-uns de ces vases reçurent, en plus, de la délayure de terre[1] ayant porté l'année précédente une culture de légumineuses.

Tous les vases ayant reçu de la délayure de terre donnèrent d'excellentes récoltes, les autres des récoltes passables ou médiocres.

D'où vient cette différence? Si l'on tire avec précaution les légumineuses qui ont prospéré, qui se sont bien développées, on aperçoit très facilement sur les racines de petites poches ou *nodosités* grosses comme des têtes d'épingles (fig. 11). En écrasant ces nodosités sur une lame de verre, de façon à examiner leur contenu au microscope (fig. 12), on voit des êtres extrêmement petits (microbes) ayant la forme de bâtonnets souvent bifurqués et peu mobiles. Ce sont ces êtres vivants (bactéries des légumineuses) qui fixent l'azote de l'air : ils fabriquent avec cet azote de l'air une matière azotée qu'ils fournissent à la plante ; cette dernière, en

1. Cette délayure est obtenue en mélangeant une bonne terre arable (de préférence une terre ayant porté des légumineuses) avec de l'eau, puis en recueillant le liquide trouble qui surnage après repos.

échange, leur envoie par sa sève les produits carbonés formés dans ses feuilles[1].



FIG. 11. — NODOSITÉS SUR LES RACINES DE LÉGUMINEUSES.
Elles contiennent des bactéries qui fixent l'azote de l'air.

On remarque très bien, en effet, que, dans les vases n'ayant pas reçu de délayure de terre, les légumineuses ne prospèrent pas, n'ont pas de nodosités, et par conséquent pas de bactéries à leur service.

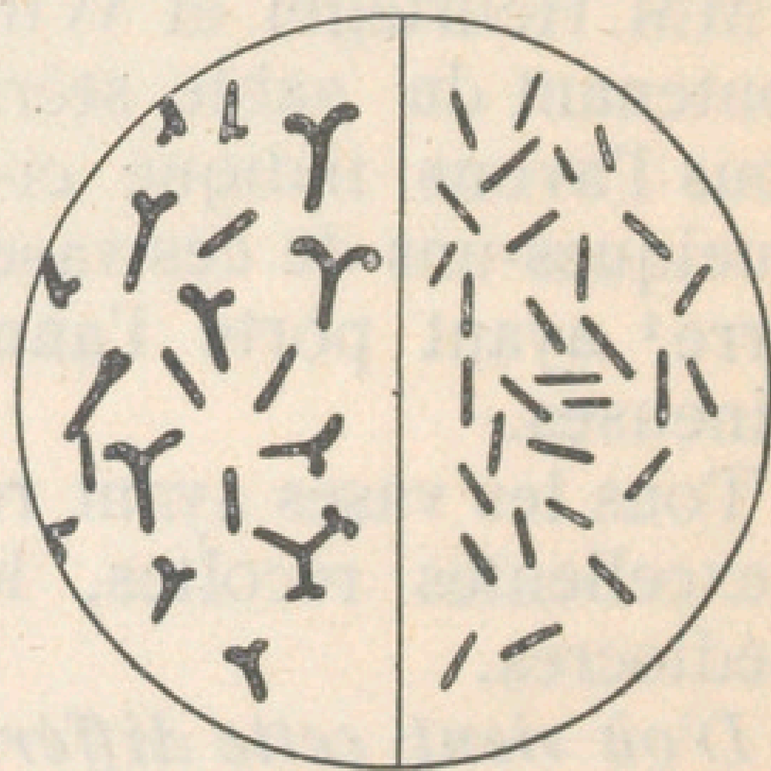
La délayure de terre ne faisait donc qu'apporter au sable stérilisé les bactéries nécessaires à la fixation de l'azote.

Expérience de M. Bréal. — Pour bien montrer l'influence des bactéries des légumineuses, M. Bréal eut l'idée *d'inoculer* les racines d'une légumineuse (pois).

Il piqua avec une aiguille une nodosité, puis introduisit aussitôt cette aiguille dans le tissu d'une jeune racine de pois en germination depuis quelques jours. La petite plantule de pois, à racine piquée, mise dans un sol stérile se développa très bien, alors qu'un pois mis dans ce même vase végéta misérablement et finit par périr.

La piqûre avait apporté dans la] plaie quelques bactéries qui formèrent plus tard des nodosités si utiles à la vie de la plante.

Expérience de MM. Schlœsing fils et Laurent. — MM. Schlœsing fils et Laurent confirmèrent définitivement la fixation de l'azote libre non plus par les différences trouvées entre les quantités d'azote contenues dans les graines et dans les plantes pourvues de nodosités, mais bien en mesurant la diminution du volume d'azote contenu dans une atmosphère limitée où se développèrent des pois.



FIG, 12. — BACTÉRIES CONTENUES DANS LES NODOSITÉS DES LÉGUMINEUSES, *vues au microscope.*
1, *forme bacillaire.*
2, *forme bactéroïde.*

Importance de la fixation de l'azote de l'air par les légumineuses. — La fixation de l'azote de l'air par les légumineuses explique pourquoi ces plantes sont considérées par les agriculteurs comme *plantes améliorantes.* Depuis longtemps, en effet, les cultivateurs savent qu'une terre

1. Les bactéries des nodosités peuvent vivre sans légumineuses. M. Mazé a démontré, en effet, qu'elles se développent dans des milieux de culture appropriés (bouillon de haricots, par exemple). En somme, l'association vitale (symbiose) des légumineuses se réduit, comme le dit M. Mazé, à un échange d'éléments nutritifs entre la plante et son hôte. *Au début* le microbe présente la *forme bacillaire* (fig. 12, 1), il vit en parasite, la légumineuse lui procure

qui a porté de la luzerne peut donner plusieurs récoltes de céréales sans qu'il soit nécessaire de donner aucun engrais azoté. Les légumineuses prenant leur azote à l'air, laissent, par la matière organique de leurs racines, une fois que les plantes sont coupées, une dose importante d'azote que les récoltes ultérieures peuvent utiliser.

D'après une expérience de M. Berthelot, on constate que la luzerne peut fixer 500 kilogrammes d'azote à l'hectare, dont 30 pour 100 sont pris par les parties aériennes de la plante. Le stock d'azote laissé au sol par un hectare de luzerne peut donc atteindre 350 kilogrammes.

On comprend, dès lors, qu'un blé semé sur défrichement de luzerne puisse verser fréquemment par suite d'un excès d'alimentation azotée; aussi préfère-t-on y cultiver de l'avoine qui est beaucoup moins sujette à la verse.

Fixation de l'azote de l'air par les algues et les plantes en général. — *Expérience de MM. Schlœsing fils et Laurent.* — MM. Schlœsing fils et Laurent observèrent la diminution du volume d'azote contenu dans de l'air confiné lorsque le sable mis en expérience se couvrait d'algues vertes. Les algues absorbent, en effet, directement l'azote de l'air.

C'est sans doute à ces algues, à des mousses que l'on trouve en grande quantité dans les prairies, qu'il faut attribuer cet enrichissement en azote de tous les sols de prairies de graminées.

Plus tard, après les expériences de MM. Schlœsing fils et Laurent, M. Kossovitch a fait connaître que la fixation de l'azote par les algues n'a lieu que lorsque celles-ci sont associées à des bactéries (bactéries autres que celles des légumineuses). Est-ce que les végétaux inférieurs ne peuvent fixer l'azote qu'à l'aide de bactéries, comme cela se passe pour les légumineuses? C'est ce que l'on ne sait pas encore.

D'après les recherches récentes de M. Jamièson, directeur de la Station agricole d'Aberdeen (Ecosse), les plantes absorberaient directement l'azote de l'air grâce à certains organes ayant en général la forme de longs poils segmentés, organes que l'on ne trouverait que sur les parties tendres des feuilles toutes jeunes ou de leurs pétioles. Cet azote serait transformé en albumine.

Nous ne faisons qu'indiquer ces travaux dont le contrôle n'a pas encore été fait, simplement pour montrer que la question de la fixation de l'azote par les plantes n'est pas entièrement résolue.

De l'emploi des bactéries fixatrices d'azote pour obtenir de plus grosses récoltes. — On eut l'idée d'introduire les bactéries des légumineuses dans les sols peu favorables à ces plantes pour en faciliter le développement.

---

les aliments azotés et carbonés dont il a besoin. *Plus tard*, apparaît la *forme bactéroïde* (fig. 12, 2); les bactéries s'associent alors à la plante (symbiose), elles assimilent l'azote de l'air et ne demandent au végétal que des aliments hydrocarbonés.

Le docteur Salfeld (en Allemagne) répandait, sur le sol à ensemencer, de la terre provenant d'un champ ayant porté des légumineuses.

C'était un procédé coûteux et difficile à exécuter. MM. Nobe et Hiltener eurent alors l'idée de choisir, de sélectionner les bactéries en question et d'en préparer, sous le nom de ***nitragine***, des cultures pures, présentant un grand nombre de ces micro-organismes sous un faible volume.

La nitragine vendue dans le commerce était diluée dans l'eau et répandue à la surface du champ de légumineuses à fertiliser.

La nitragine, essayée en Allemagne, en France et en Angleterre, donna des résultats assez contradictoires.

La question fut reprise par Moore aux États-Unis : il fixait les bactéries sur du coton comme support. En 1905, de nombreuses expériences furent faites en Angleterre avec des cultures microbiennes américaines et allemandes : les résultats furent mauvais. En Amérique on revint aux cultures liquides dans des flacons, et en Angleterre on employa une poudre qui conserve son activité pendant deux ans : les résultats obtenus en 1906 et 1907 donnèrent alors 80 pour 100 de réussite.

On voit donc que l'inoculation bactérienne des sols, du moins en ce qui concerne les bactéries des légumineuses fixatrices d'azote, a fait des progrès et qu'elle paraît sur le point d'aboutir.

Il est à remarquer que l'emploi de la nitragine marque les premiers pas vers une voie nouvelle : l'utilisation des micro-organismes du sol pour obtenir des excédents de récolte[1].

En résumé, *les plantes prennent :*

Le carbone. . .
- 1° *principalement à l'air : elles décomposent grâce à leur matière verte (chlorophylle) et sous l'action de la lumière du soleil, l'acide carbonique contenu dans l'air, fixe le carbone et rejette l'oxygène.*
- 2° au sol : en absorbant, à l'aide de leurs racines, des carbonates ou des liquides tenant en dissolution du gaz carbonique ou même des substances organiques.

L'oxygène . .
- 1° *principalement à l'air, en respirant comme font les animaux : elles absorbent aussi bien pendant le jour que pendant la nuit l'oxygène de l'air et rejettent de l'acide carbonique.*
- 2° à l'eau et aux sels oxygénés (sulfates, phosphates, azotates).

L'hydrogène. . *à l'eau.*

L'azote. . . .
- 1° *à l'air.*
- 2° *aux nitrates et aux sels ammoniacaux que contiennent les sols et l'air.*
- 3° *aux matières organiques azotées du sol.*

---

1. C'est en 1896 que l'on commença à se servir de la nitragine; en 1897, on mettait en vente l'***alinite***, culture pure de bactéries fixant l'azote, non pas sur des plantes, mais sur le sol (voir fixation de l'azote de l'air dans les terres arables p. ,).

CHAPITRE IV

ALIMENTATION MINÉRALE DES VÉGÉTAUX

17. Les substances minérales nécessaires à l'alimentation des plantes. — Nous avons vu (p. 4) que les cendres des plantes se composent essentiellement d'un certain nombre de substances, toujours les mêmes, en proportions variables :

L'acide ***phosphorique.***	***Potasse.***
— *sulfurique.*	***Chaux.***
— *carbonique.*	*Magnésie.*
— *chlorhydrique.*	*Soude.*
— *silicique.*	*Oxydes de fer, de manganèse, etc.*

Ces matières minérales sont prises par la plante dans le sol.

Examinons si toutes ces substances sont utiles à la plante.

18. Comment on se rend compte de l'utilité, pour la plante, de chacune de ces substances. — Pour déterminer l'utilité de chacune des substances que l'on trouve dans les cendres, les agronomes qui s'occupent de recherches procèdent de la manière suivante : 1° ils préparent un *sol stérile*, en calcinant du sable quartzeux à la température du rouge vif, afin de détruire toutes les matières organiques qui pourraient servir d'aliments aux plantes et en lavant ensuite ce sable avec des acides, puis de l'eau, afin de détruire également les éléments fertilisants que ce sable pourrait contenir; 2° ils ajoutent au sol préparé les substances qui constituent les cendres, *sauf celle dont on veut reconnaître l'utilité*; 3° ils ensemencent enfin le sol avec des graines différentes.

Un sol préparé de la même façon et additionné de tous les éléments fertilisants, y compris celui dont on recherche l'utilité, sert de *témoin* (le témoin reçoit des graines analogues).

Au lieu de semer les graines dans un sable stérile, on fait souvent développer les plantes sur des dissolutions contenant les éléments fertilisants (*dissolutions nutritives*). On opère de la manière suivante : on place les graines à germer entre deux baguettes de verre qui les retiennent juste à la surface de la dissolution contenue dans un flacon ou un vase (fig. 13).

Il arrive souvent que, sous l'action de la lumière, les dissolutions nutritives sont envahies par des *algues* qui s'emparent d'une partie des éléments fertilisants mis à la disposition de la plante soumise à l'essai. On évite cet

inconvénient en entourant le flacon d'un papier noir arrêtant la lumière. D'autre part, il arrive aussi que (lorsque la lumière n'arrive plus dans le flacon) des ferments se développent dans la dissolution, on constate alors une odeur putride. Dans ce cas, il faut renouveler fréquemment la solution nutritive.

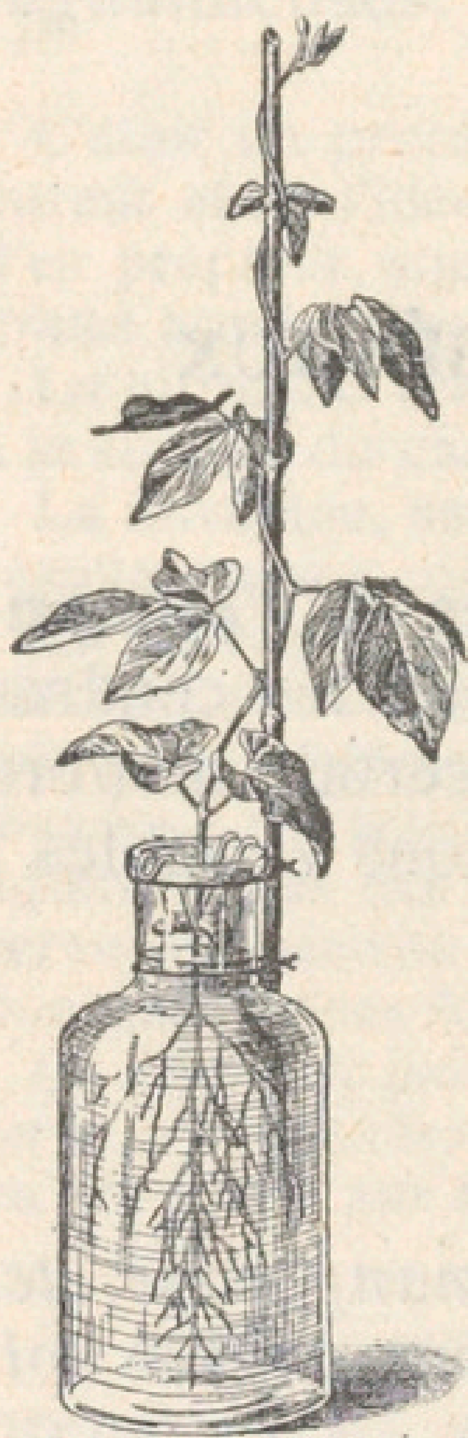


Fig. 13. — Plante se développant dans une dissolution nutritive.

Ainsi que le fait remarquer Déhérain, les végétaux, vivant habituellement dans le sol ne s'accommodent parfois de la végétation dans un liquide qu'en modifiant profondément la forme de leurs racines ; les betteraves, notamment, ne forment guère que du chevelu et pas de souche charnue ; aussi, en général, préfère-t-on employer le sable calciné.

On peut également montrer l'influence des *principaux éléments fertilisants* en procédant *à des cultures démonstratives en pots*, comme nous l'indiquons page 222.

RÉSULTATS. — 1° **Acide phosphorique et potasse.** — Les expériences démontrent que les plantes ne peuvent se passer d'acide phosphorique et de potasse.

L'acide phosphorique se montre dans toutes les parties de la plante, mais surtout dans les graines et les fruits.

La soude étant un composé très voisin de la potasse on pourrait croire qu'elle peut remplacer cette dernière dans l'alimentation des plantes ; il n'en est rien. La soude, de plus, n'est pas utile.

2° **La chaux.** — La chaux est utile au développement des plantes. Elle exerce une action très favorable, surtout sur les *légumineuses*.

Les plantes peuvent vivre néanmoins dans des terres extrêmement pauvres en calcaire (carbonate de chaux), comme dans les sols granitiques où l'analyse peut à peine déceler des traces de chaux; elles contiennent simplement moins de chaux. On constate, en effet, dans ces plantes, de la chaux en petite quantité, qu'elles ont pu prendre et concentrer dans leurs tissus malgré la pauvreté du sol.

On a cru pendant longtemps que la chaux était particulièrement favorable au développement des jeunes plantes. Certains expérimentateurs avaient remarqué en effet que les jeunes plantes se développent mieux dans de l'eau renfermant des sels calcaires que dans l'eau distillée. MM. Déhérain et Demoussy ont reconnu que cette différence était due à la présence de traces de cuivre dans l'eau distillée (obtenue en distillant l'eau dans un alambic ordinaire en cuivre) très nuisibles aux plantes.

Nous verrons qu'en dehors du rôle joué dans l'alimentation de la plante, la *chaux joue encore un rôle très important dans le rendement des récoltes* (page 190).

3° ***Magnésie.*** — D'après G. Ville, la magnésie est absolument nécessaire dans un sol pour le développement du blé et du sarrasin.

D'après certains expérimentateurs, elle ne serait pas utile à toutes les plantes; elle serait même nuisible dans certains cas. En réalité, on connaît peu l'influence de la magnésie sur le développement des plantes. Mais, comme la plupart des sols en contiennent des quantités que la pratique a reconnu suffisantes, on n'a pas pas à se préoccuper outre mesure de cet élément.

4° ***La silice.*** — La silice existe dans les cendres de tous les végétaux; on la trouve en très forte proportion dans les graminées et les fougères. On lui a attribué pendant longtemps un rôle important dans l'alimentation des plantes; on a cru que sa rareté dans un sol était la cause de la *verse* des céréales. Des expériences ont démontré que son rôle n'est que secondaire : Sachs a obtenu des pieds de maïs de grandeur normale ne contenant pas trace de silice; M. Wolf a réussi à élever de l'avoine dans une dissolution nutritive ne contenant pas de silice.

Dans tous les cas, la silice existant en quantité considérable dans les sols, l'agriculteur ne doit pas s'en préoccuper.

5° ***Oxyde de fer.*** — Le fer que l'on trouve dans les cendres des plantes est un agent de la formation de la chlorophylle, matière verte des feuilles si utile, comme nous l'avons vu, à l'assimilation du carbone. Pratiquement, on n'a pas à se préoccuper de cet élément, la plupart des terres contenant de l'argile colorée par des oxydes de fer.

6° Le ***manganèse*** a une influence favorable sur le développement des plantes[1]. Une proportion très faible de ce métal donne des résultats appréciables. Du sulfate de manganèse employé comme engrais a permis, d'après une expérience de M. Bertrand, d'obtenir un rendement plus élevé (voir p. 202).

7° ***Acide sulfurique.*** — L'acide sulfurique existe toujours dans les cendres des plantes en quantités variables, combiné avec la potasse, la chaux, la magnésie sous forme de sulfates. Une partie de ces sulfates existait déjà dans le végétal, mais une grande partie s'est formée pendant l'incinération des matières sulfurées organiques abondantes dans les plantes, ainsi que l'a montré M. Berthelot.

Les matières albuminoïdes que contiennent les plantes renferment toujours une certaine quantité de soufre qui paraît nécessaire à leur constitution. Certains végétaux, tels que les crucifères (choux, etc.) sont riches en soufre.

Le plâtre ou sulfate de chaux peut servir à remédier à l'insuffisance de sulfate dans les sols.

8° ***Chlorures.*** — Les chlorures existent en général dans tous les végétaux, l'on ignore le rôle qu'ils jouent. Pratiquement, l'agriculteur n'a pas à s'en occuper.

Choix que fait la plante entre les divers sels solubles que l'on met à sa disposition. — Les plantes ne prennent pas indifféremment tous les sels solubles qu'elles rencontrent dans le sol. Chaque espèce de plante a une avidité spéciale pour chaque principe minéral et l'absorbe en raison de cette avidité : en d'autres termes, les plantes font un choix entre les divers sels solubles qui sont à leur disposition. Nous verrons que ce choix est quantitatif, mais non pas qualitatif (page 37).

Expériences faites par M. Demoussy. — M. Demoussy a constaté, par exemple, que le blé introduit dans une dissolution renfermant du nitrate de potasse et du nitrate de calcium prenait plus vite le nitrate de potasse.

---

1. Communication de M. G. Bertrand à l'Académie des Sciences, en 1905.

Du seigle dans un mélange de nitrate de potasse et de nitrate de soude absorbe plus vite le nitrate de potasse et en plus grande quantité.

Quantités de matières minérales que prennent les plantes. — Les plantes n'ont pas besoin pour se développer de proportions rigoureusement déterminées de principes minéraux. C'est dire qu'elles peuvent pousser dans des terrains plus ou moins riches; s'il en était autrement, la production des plantes cultivées serait limitée à de bien petites étendues. Elles prennent plus ou moins, suivant la plus ou moins grande abondance de matières minérales mises à leur disposition.

Ainsi, Saussure a trouvé deux fois plus de chaux dans des feuilles de rhododendron ayant poussé en terrain calcaire que dans des feuilles de rhododendron venu sur terrain granitique ne contenant que des traces de chaux.

Le tabac venu en terrain peu riche en potasse n'en contient que 0,2 pour 100, alors qu'en terrain riche, il peut en contenir jusqu'à 5 pour 100.

Il y a cependant une partie de la plante dont la composition, tant organique que minérale, est à peu près constante, quelle que soit la richesse du terrain dans lequel la plante a poussé : c'est la graine. Et cela se comprend, l'embryon ou germe de la jeune plante a besoin, pour se développer, d'une quantité déterminée de principes nutritifs de première utilité.

Il est important de remarquer que l'absence d'un seul élément nutritif nécessaire à la plante annule l'action de tous les autres, si abondants qu'on les suppose.

EN RÉSUMÉ, au point de vue agricole, et d'après l'état actuel de nos connaissances, l'agriculteur ne doit se préoccuper de fournir à la plante que quatre éléments fertilisants.

L'azote ;
L'acide phosphorique;
La potasse;
La chaux.

La plante a besoin de ces quatre éléments fertilisants à la fois. Ainsi que nous le verrons (loi du minimum, p. 110). ***Si l'un des quatre éléments fait défaut, les autres ne servent presque à rien et la plante se développe mal.***

Les autres éléments nécessaires à la vie de la plante n'ont, pratiquement, qu'une importance très secondaire parce que la plante les trouve en assez grande quantité dans l'air ou dans le sol.

Peut-être, ainsi que semblent le faire prévoir les expériences de M. Gabriel Bertrand, aurons-nous plus tard à nous préoccuper des éléments rares, iode, bore, zinc, etc. Les expériences pratiques, faites à ce sujet, ne sont pas encore suffisantes pour que nous insistions davantage.

CHAPITRE V

COMMENT LES PLANTES ABSORBENT LES MATIÈRES FERTILISANTES NÉCESSAIRES A LEUR NOURRITURE

19. Les organes d'absorption des matières fertilisantes. — *Le carbone* est fourni en grande partie par l'acide carbonique de l'air, et en petite quantité par le sol sous forme de carbonates ou de matières organiques carbonées.

L'oxygène est fourni par la respiration, par l'eau et aussi par les sels oxygénés.

L'hydrogène est donné par l'eau.

Les substances minérales (*acide phosphorique*, *potasse*, *chaux etc.*) *sont données par le sol.*

La plante prend tous ces principes fertilisants qui lui sont nécessaires par ses racines et par ses feuilles.

Au point de vue pratique, nous n'avons pas à nous occuper des parties aériennes de la plante ni de la façon dont les feuilles fonctionnent dans l'atmosphère, car ce fonctionnement se fait sans notre intervention et nous ne pouvons le modifier que très légèrement.

Seules, les racines, doivent attirer notre attention : celles-ci, en effet, ne trouvent pas toujours dans le sol les principes nécessaires au développement de la plante ; nous sommes obligés de les leur donner sous forme d'engrais, aussi, devons-nous savoir comment fonctionnent les racines, comment elles prennent les éléments fertilisants contenus dans le sol ou donnés par nous.

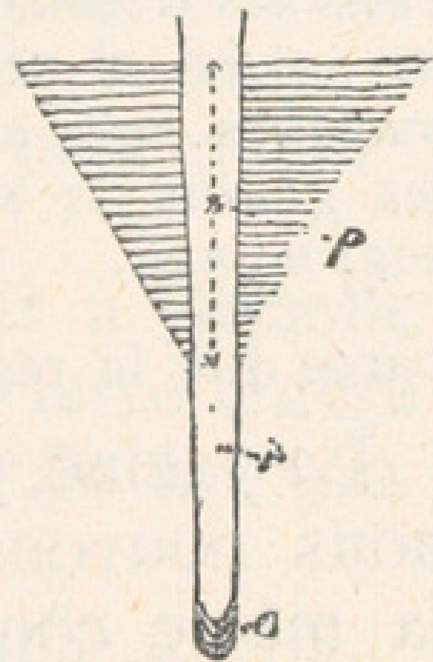


Fig. 14. Extrémité d'une racine.
p, *région des poils absorbants* ; r, *racine* ; c, *coiffe*.

20. Aspect extérieur des racines. — Lorsqu'on examine les racines d'une jeune plantule de haricot que l'on a fait germer dans de la mousse humide ou du papier buvard, on voit (fig. 14) que chaque racine est constituée par un cordon cylindrique, dont l'extrémité un peu arrondie, plus dure que la région voisine, forme une espèce de capuchon appelé *coiffe* qui protège l'extrémité. A peu de distance du

sommet, et sur une faible longueur variant de 3 à 4 millimètres jusqu'à 4 centimètres, les racines sont revêtues d'un duvet formé par des poils très fins appelés *poils absorbants*, atteignant une longueur de plus d'un centimètre vers la partie la plus éloignée de la coiffe.

Pour apercevoir ces poils absorbants, il faut arracher avec précaution les racines ayant poussé dans des sols sablonneux; en terrain ordinaire, les racines, s'enroulant autour des particules de terre, se brisent à l'arrachage (fig. 15).

C'est par ces poils absorbants que se fait l'absorption des matières nutritives; la coiffe et le corps de la racine n'absorbent rien.

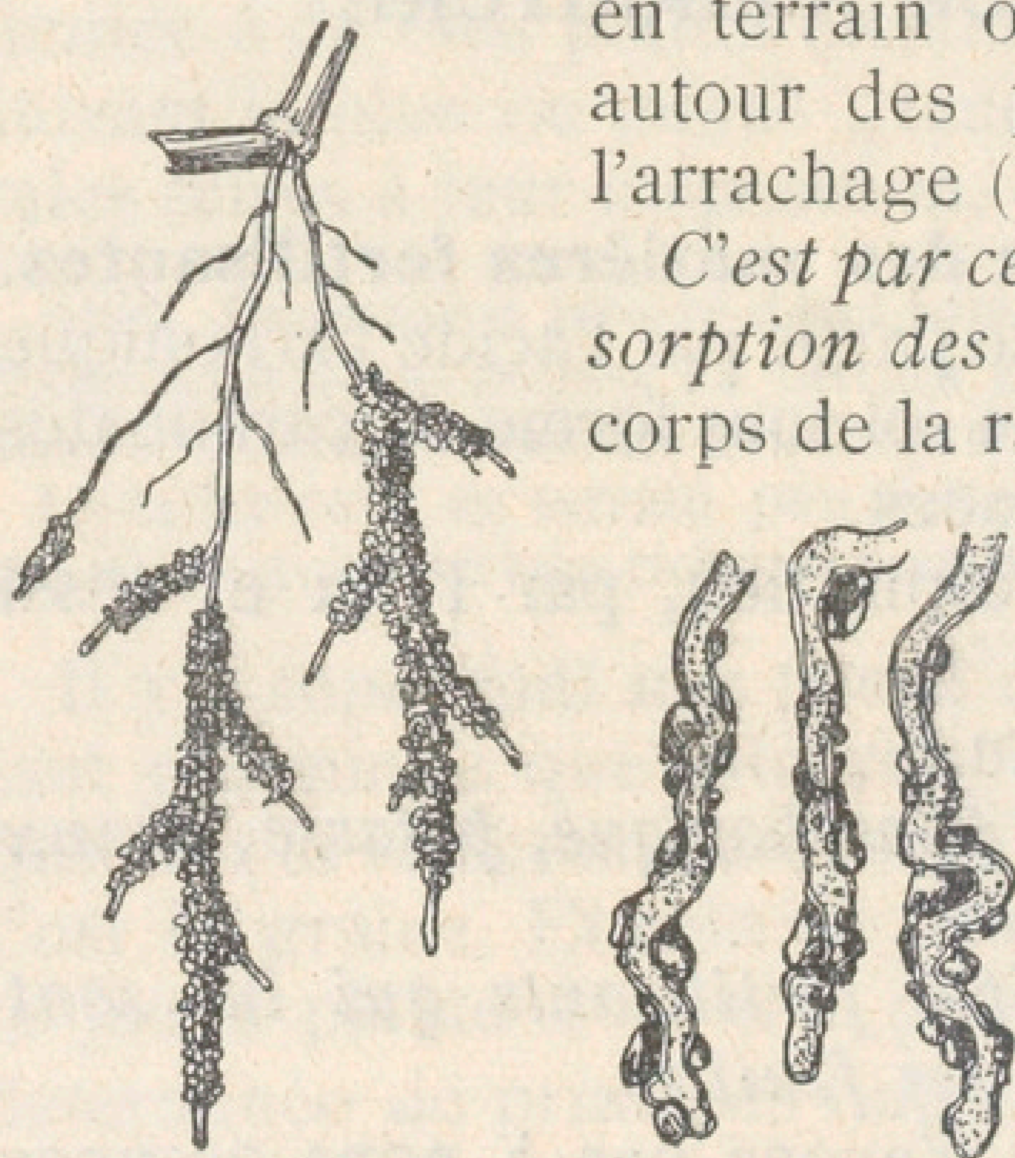


Fig. 15. Poils absorbants des racines. *Racines de chiendent arrachées d'un sol sablonneux. La région couverte de poils absorbants est entourée de grains de sables. A droite sont représentés quelques poils absorbants isolés avec les grains de sable sur lesquels ils sont montés.*

Expérience. — Pour démontrer que l'absorption se fait par les poils absorbants, on prend 4 plantules aussi identiques que possible (fig. 16).

La première I plonge sa racine dans l'eau.

La deuxième II plonge seulement la coiffe dans l'eau, le restant de la racine baignant dans une couche d'huile.

La troisième III, plonge seulement ses poils absorbants sous l'huile, la coiffe et le corps de la racine étant dans l'eau.

La quatrième IV, plonge seulement la région des poils absorbants dans l'eau. On remarque au bout de quelque temps que la 1re et la 4e dont les poils absorbants sont dans l'eau se développent, les deux autres meurent parce que la région des poils absorbants est hors de l'eau.

La racine principale émet des radicelles; ces radicelles, que nous pouvons appeler radicelles de premier ordre et qui ont la même constitution que la racine principale, émettent aussi des radicelles de deuxième ordre, celles-ci des radicelles de troisième ordre et ainsi de suite.

1° Le système radiculaire comprend très souvent une racine *principale* ou *pivot* portant un ensemble de ramifications de moins en moins importantes, on dit que la racine est *pivotante*. Exemple : la fève, le haricot, etc. Ce pivot est quelquefois très gros par suite de l'accumulation de réserves nutritives, comme chez la betterave.

2° Parfois, le pivot se développe peu et les racines latérales avec les radicelles deviennent, au contraire, très importantes; l'ensemble des radicelles les plus menues constitue le chevelu. Exemple : les céréales.

Toutes ces radicelles sont garnies de *poils absorbants*, si utiles au végétal pour absorber les matières fertilisantes. La

durée de ces poils absorbants est éphémère; à mesure que les radicelles s'allongent, de nouveaux poils naissent vers leur extrémité tandis que les supérieurs meurent; de la sorte, la plante explore toutes les couches de la terre arable à la recherche de sa nourriture.

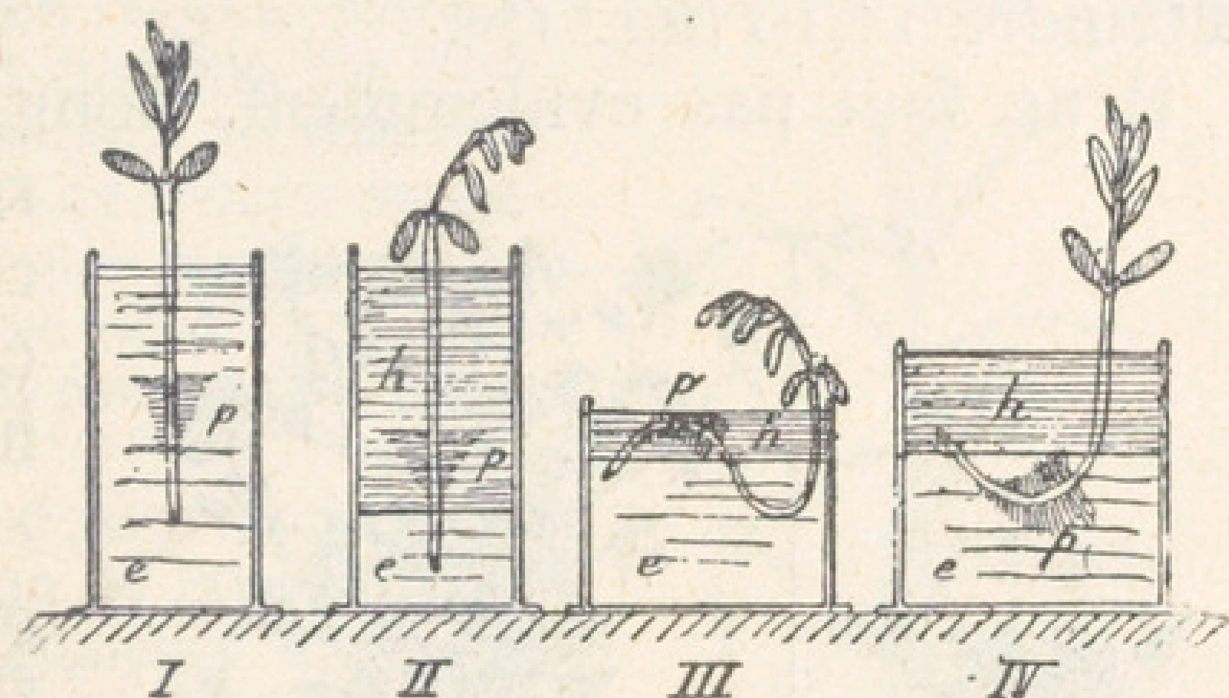


Fig. 16.

Expériences montrant que l'absorption se fait par les poils absorbants p, *dans l'eau* e, *et non dans l'huile* h.

Les racines respirent. — *Elles absorbent de l'oxygène et rejettent du gaz carbonique.* Si la respiration ne peut se faire, la plante dépérit et meurt. On comprend dès lors l'utilité des labours non seulement pour ameublir le sol, mais pour l'aérer. On comprend aussi l'utilité du drainage pour l'écoulement des eaux; les eaux restant stagnantes, les racines absorbent peu à peu l'oxygène qu'elles contiennent puis, faute de ce gaz, périssent asphyxiées.

21. Profondeur à laquelle pénètrent les racines. — ***Importance au point de vue agricole.*** — C'est un préjugé très répandu que les racines des plantes puisent leur nourriture dans la partie superficielle du sol, dans la couche de terre remuée par la charrue. On croit, en effet, que les racines de la plupart des plantes ne pénètrent dans la terre qu'à une faible profondeur: c'est une erreur.

MM. Müntz et Girard ont mesuré la profondeur à laquelle pénétraient les racines de diverses plantes dans une terre légère à la surface et compacte à une profondeur de 0m,50 à 0m,60. Les résultats ont été les suivants :

Blé	à plus de	1m,50	de profondeur.
Orge	—	1m,50	—
Avoine	—	1m,50	—
Herbe de prairie.	—	1m,40	—
Colza.	—	1m,75	—
Chanvre	—	1m	—
Luzerne	—	1m,75	—
Trèfle.	—	1m,70	—

M. Aimé Girard a constaté que les racines de pommes de terre atteignent assez généralement 1m,80. Dans un sol très meuble il a vu la longueur totale des racines d'une betterave à sucre atteindre 2m,50.

Au musée de Berne est exposée une racine de luzerne ayant

16 mètres de long. Le trèfle ne forme ses racines qu'assez lentement; cependant au bout de 15 mois qu'il occupe le sol il peut atteindre 1m,10 (fig. 17).

Il ne faut pas évidemment, pour juger de la longueur des racines d'une plante, arracher cette plante sans précautions comme on le fait habituellement :

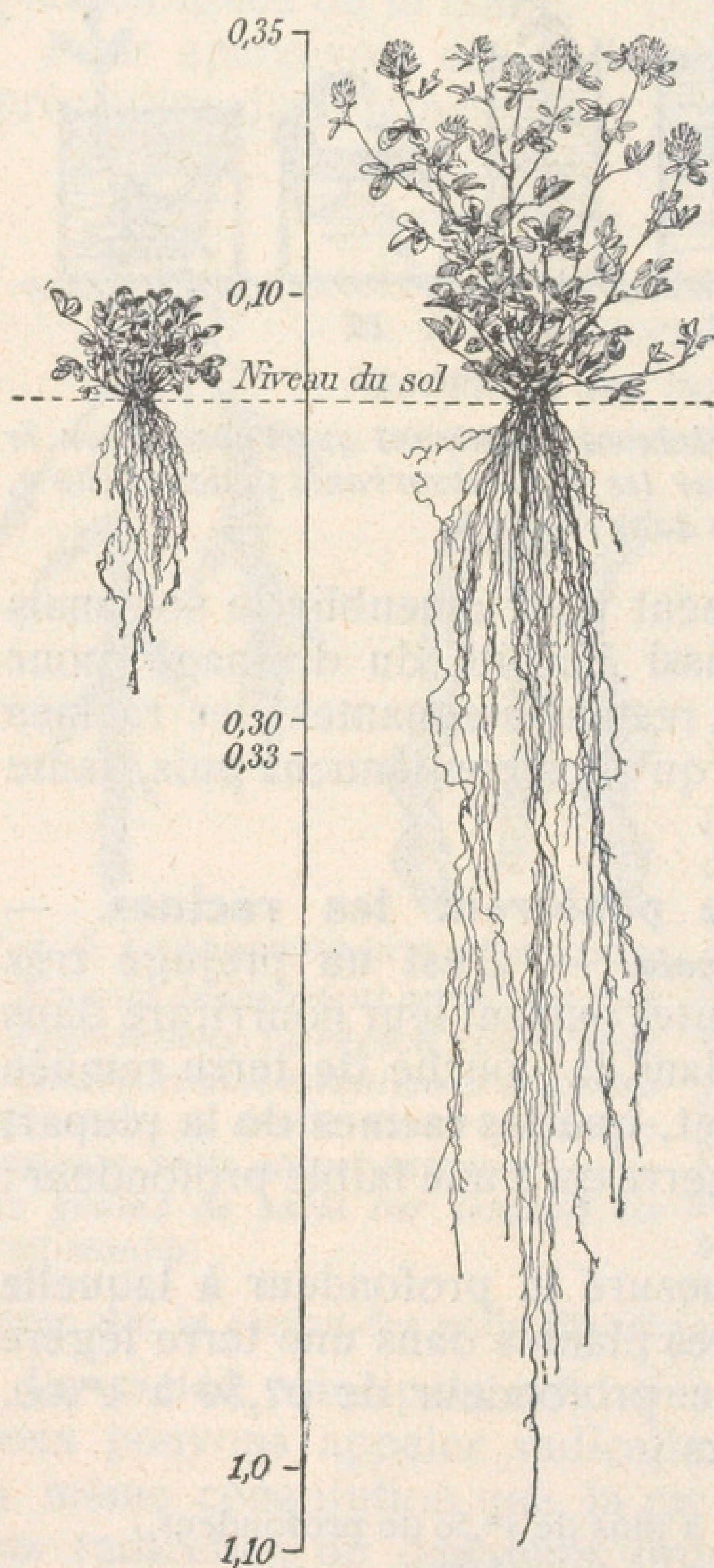


Fig. 17.
LONGUEUR DES RACINES DE TRÈFLE.
A gauche un pied de trèfle de 3 mois a des racines atteignant 0m,30; *à droite un pied de trèfle de* 15 *mois a des racines de* 1m,10.

Expérience. — On pratique une tranchée profonde dans un terrain en culture pour suivre les radicelles sur toute la longueur. Pour les voir plus facilement on dirige un jet d'eau sur la paroi de la tranchée afin d'enlever les particules terreuses.

Ces longues radicelles, il faut nécessairement leur frayer un chemin si l'on veut que la plante aille au loin chercher l'eau et les matières nécessaires à sa végétation. De là, la nécessité d'ameublir le sol aussi profondément que possible; de là, par conséquent, la nécessité des *labours profonds.*

Plus les racines s'enfoncent profondément dans la terre et plus elles ont de matières fertilisantes à leur disposition.

C'est une nécessité, en effet, pour la plante, d'enfoncer ses racines le plus profondément possible dans le sol, il faut qu'elle cherche en quelque sorte sa nourriture. Darwin compare la racine à un animal fouisseur, à une taupe s'éloignant des obstacles et se dirigeant du côté où elle trouve des aliments. *Si le sol est riche, la plante pouvant vivre facilement étend peu ses racines. Si le sol est pauvre, les racines ne trouvant pas assez d'aliments à leur portée, s'enfoncent de plus en plus dans la terre pour*

en trouver. C'est ce que montre l'expérience de M. Bréal, fig. 18.

Expérience de M. Bréal. — Un plant de blé à cheval sur deux vases contenant des solutions nutritives a ses racines partagées entre les deux vases. Dans les deux vases la solution contient par litre 1 gramme de chlorure de potassium, 1 gramme de phosphate de potassium et 0gr,10 de sulfate de magnésie; dans le vase A il y a en plus 1 gramme de nitrate de potasse. Les racines se sont beaucoup plus développées dans le vase B pauvre, ne contenant pas d'engrais azoté.

Le développement plus grand des racines se traduit par une forte transpiration de la plante qui emploie pour transporter ses aliments une plus grande quantité d'eau.

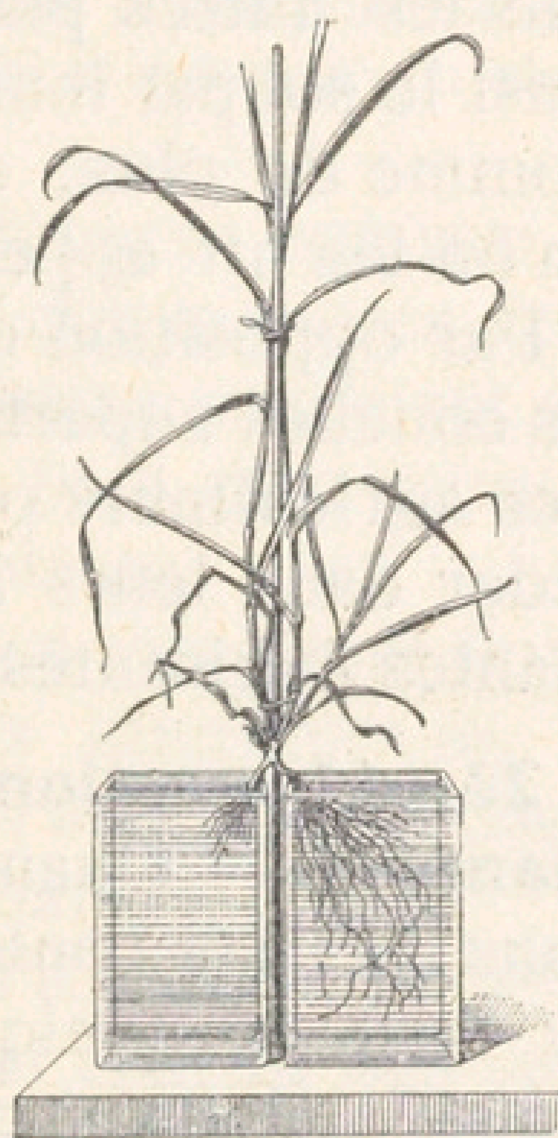


FIG. 18. *Les racines d'une plante déterminée prennent un développement d'autant plus grand que le sol où elles pénètrent est plus pauvre en aliments. Plant de blé enraciné dans deux solutions nourricières différentes : dans le vase* A *la solution contient du nitrate de potasse; dans le vase* B *la solution ne contient pas de nitrate de potasse.*

Il n'est pas rare de voir des plantes ou des cultures arbustives poussant vigoureusement dans des sols *pauvres* parce que leurs racines vont à de grandes profondeurs. Exemple : la vigne, dont les racines atteignent quelquefois 15 et 20 mètres de profondeur, peut vivre dans ce cas sans recevoir aucun engrais. Si les couches profondes des sols pauvres sont très dures et imperméables, les racines, ne pouvant aller plus loin, cheminent latéralement autant qu'il leur est possible, la plante ne se nourrit plus alors que difficilement, elle ne tarde pas à péricliter. Ainsi, par exemple, la luzerne commence à disparaître dès que les racines ont atteint une couche de terre dure qui arrête son développement, et sa durée, d'après MM. Müntz et Girard, est en quelque sorte proportionnelle à la profondeur du sous-sol, plutôt qu'à la qualité de la terre.

22. Comment les racines sont distribuées dans le sol. — Certaines plantes, telles que les céréales, laissent développer leurs radicelles plus particulièrement dans les parties superficielles du sol; ces radicelles deviennent d'autant moins nombreuses que la profondeur augmente, on les appelle quelquefois pour cette raison *plantes traçantes.*

D'autres plantes, au contraire, comme les légumineuses (luzerne, etc.), laissent développer leurs radicelles aussi bien et même mieux dans les parties profondes que dans les parties superficielles du sol. Ces légumineuses enfoncent quelquefois leurs racines à de très grandes profondeurs, aussi peuvent-elles

prospérer dans des terres relativement peu fertiles si ces terres sont assez meubles. Elles prennent aux couches profondes du sous-sol et ramènent à la surface des principes fertilisants que les autres plantes ne peuvent prendre, elles enrichissent ainsi le sol par leurs débris, feuilles et racines laissées sur place. Comme de plus, elles fixent l'azote libre de l'air, on conçoit qu'on les ait appelées *plantes améliorantes.*

Par opposition on donne aux céréales qui vivent surtout dans les couches superficielles du sol, le nom de *plantes épuisantes.* Les agriculteurs ont tout intérêt, comme on le voit, à faire succéder dans leurs assolements des plantes améliorantes à des plantes épuisantes.

23. Absorption des matières fertilisantes solubles par les plantes. — Quand on plonge les racines d'une jeune plante dans de l'eau contenant une dissolution de matières minérales, au bout de quelques jours, après analyse, on constate que la plante a absorbé certaines matières : certains sels, tels que les phosphates, les nitrates, les sels de potasse, sont absorbés en grande quantité; tandis que d'autres, tels que les sels de soude, sont peu absorbés. La plante absorbe en même temps une grande quantité d'eau; l'absorption de l'eau est proportionnellement plus considérable que l'absorption des sels.

Les racines n'absorbent que des substances en dissolution, car en plaçant dans l'eau où elles se trouvent des poussières colorantes très ténues, on n'en trouve aucune trace dans les tissus, à moins que les racines n'aient été brisées.

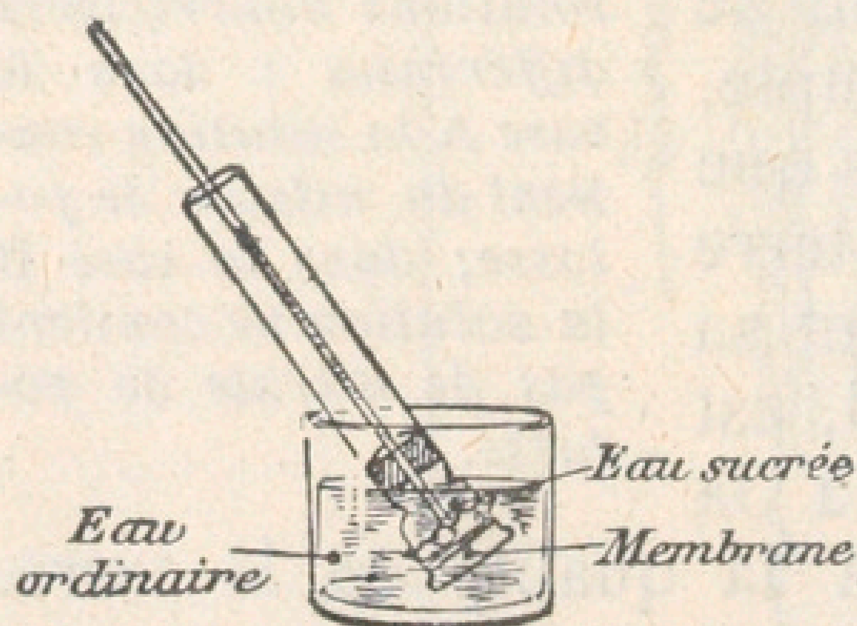


Fig. 19.
EXPÉRIENCE MONTRANT COMMENT LES RACINES ABSORBENT LES MATIÈRES SOLUBLES (*diffusion*).
L'eau ordinaire passe à travers la membrane et le niveau monte dans le tube situé au centre du verre de lampe.

Comment les racines absorbent-elles ces matières solubles? C'est ce que l'expérience suivante nous indique :

Expérience. — Prenons un verre de lampe (fig. 19) et fermons la plus grande ouverture avec une vessie de porc ramollie dans l'eau. Versons de l'eau sucrée dans ce verre jusqu'à l'étranglement, bouchons avec un bouchon laissant passer au centre un tube de faible diamètre, et mettons le tout dans un vase contenant de l'eau ordinaire.

Au bout de quelques heures, on constate que l'eau du vase est sucrée et que le volume du liquide dans le verre de lampe a augmenté ainsi que l'indique le niveau dans le petit tube.

Que s'est-il passé ? *Il s'est établi à travers la membrane deux courants en sens contraire*, une certaine quantité de sucre est passée dans l'eau, pendant qu'une certaine quantité d'eau est entrée dans le verre de lampe; *mais la*

vitesse de ces deux courants est inégale, le liquide le moins dense passe plus rapidement que l'autre, voilà pourquoi le volume du liquide augmente dans le verre de lampe. Ce phénomène s'appelle *diffusion*; on dit que les liquides se diffusent à travers la membrane[1].

Les deux courants se produisent jusqu'au moment où la composition des deux liquides situés de part et d'autre de la membrane est la même, il y a alors équilibre.

Les poils absorbants des radicelles fonctionnent comme la membrane précédente. Ces poils contiennent des matières azotées; leur membrane laisse passer l'eau ordinaire contenant en dissolution des aliments, et cela en quantité bien plus grande que celle qu'elle laisse diffuser venant de la plante.

L'eau et les matières salines en dissolution pénètrent donc dans les racines et s'élèvent par les vaisseaux intérieurs de la plante pour se rendre, sous le nom de *sève brute*, jusque dans les feuilles où elles y subissent des transformations.

L'absorption se continue jusqu'à ce que l'*équilibre* se produise entre les matières salines introduites et chacun des sels renfermés dans le sol.

La pénétration des sels en dissolution dans l'eau se produit toujours dans les plantes, quels que soient ces corps, pourvu que ces sels n'altèrent pas les propriétés de la membrane. Lorsque l'équilibre a lieu, deux cas peuvent se présenter :

Ou bien la plante décompose, dans certaines de ses parties, les sels qu'elle a absorbés (comme les sels de potasse, les nitrates, etc.); l'équilibre étant alors à chaque instant détruit, l'absorption de ces sels continue et se règle exactement sur la destruction qui s'opère dans les différentes parties de la plante.

Ou bien la plante ne décompose pas les sels absorbés (comme les sels de soude, le chlorure de sodium ou sel marin, par exemple), dans ce cas, la plante étant saturée de sels inutiles, l'absorption cesse à partir du moment où l'équilibre est établi.

On comprend maintenant pourquoi la plante semble choisir ses aliments. En réalité, elle prend tout ce qu'elle trouve en dissolution dans l'eau, sans se soucier des matières reçues, mais comme elle n'utilise qu'un certain nombre de ces matières, toutes les autres n'ayant aucune utilité, l'absorption cesse dès que la plante ne peut plus en recevoir. Comme on le voit, le *choix de la plante est quantitatif, mais non pas qualitatif.*

24. Absorption des matières fertilisantes insolubles par les plantes. — Tout ce que nous venons de dire s'applique

---

1. Le phénomène qui consiste dans le passage du courant allant du vase à l'intérieur du verre de lampe s'appelle *osmose*, le phénomène inverse s'appelle *exosmose*.

aux sels solubles. Comment les sels insolubles peuvent-ils pénétrer dans les racines?

Remarquons tout d'abord que les racines renferment un liquide acide : en effet, lavons les racines d'une plante, puis écrasons les racines sur du papier bleu de tournesol, le liquide contenu dans les racines produit des taches rouges sur le papier bleu, ce qui prouve *qu'il est acide*. Procédons maintenant à l'expérience suivante :

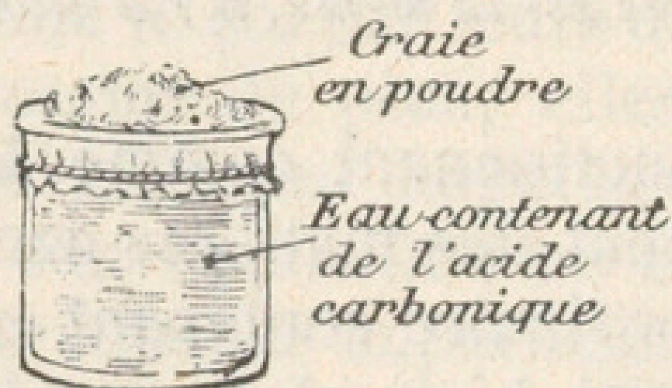


Fig. 20. — *Comment les matières insolubles en contact avec les racines passent dans les plantes.*

Expérience I. — Prenons un verre (fig. 20) et remplissons-le entièrement d'eau distillée ou d'eau de pluie. Soufflons dans cette eau avec uu tube pour y introduire l'acide carbonique contenu dans l'air expiré. Sur le liquide, appliquons une vessie de porc ramollie dans l'eau et sur cette vessie touchant bien le liquide posons un peu de craie en poudre.

Le lendemain, nous pourrons constater que l'eau du verre contient en dissolution du carbonate de chaux; il suffit pour cela de verser un peu d'ammoniaque : il se produit un trouble dû au carbonate de chaux devenu insoluble. Ainsi donc, la craie a été peu à peu attaquée et a passé à travers la membrane.

Le même phénomène se produit pour les racines en contact avec les matières fertilisantes insolubles, il y a également peu à peu absorption.

Expérience II. — Cultivons des haricots dans un petit pot au fond duquel on a placé une plaque de marbre (fig. 21). Les racines traversent la mince couche de terre, arrivent au contact du marbre et rampent à sa surface. Si on enlève la terre et qu'on lave la plaque de marbre, on voit que les racines ont laissé leur empreinte en creux, par suite de la dissolution du marbre.

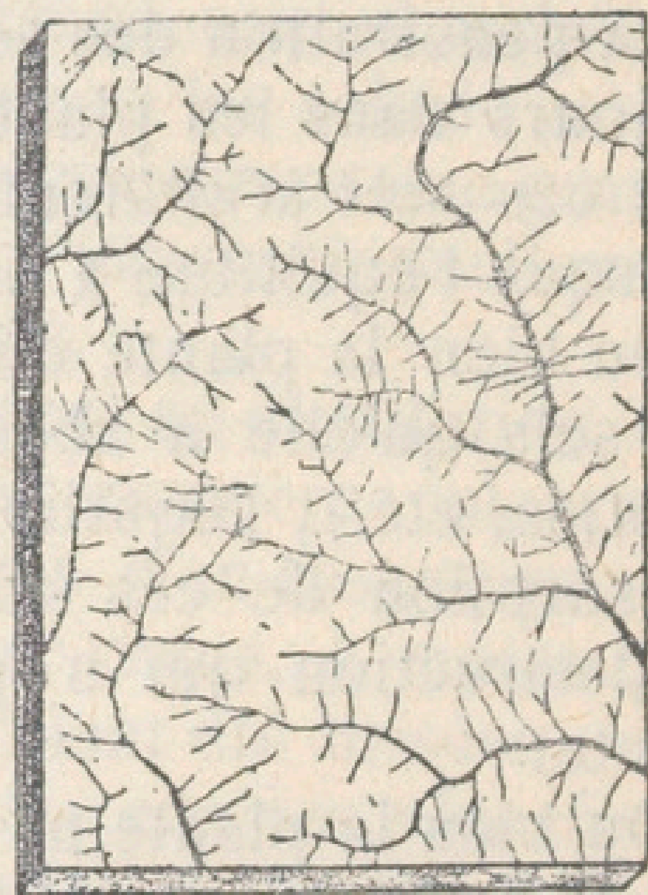


Fig. 21.
Sillons tracés par les racines sur une plaque de marbre.

Toutes ces expériences permettent de tirer les conclusions suivantes :

Les racines des plantes, grâce à l'acide qu'elles renferment, peuvent solubiliser et absorber les matières nutritives insolubles. Pour qu'un engrais ou matière fertilisante insoluble soit facilement absorbé par les plantes, il est utile que cet engrais soit en contact direct avec les racines. Il est donc nécessaire que cet engrais soit répandu autant que possible dans tous les points du sol où les racines doivent se développer.

Le contact des racines avec l'engrais est évidemment d'autant plus grand que cet engrais est plus divisé en particules très fines. Un morceau de phosphate de chaux gros comme une bille ne touche, par exemple, la racine qu'en un seul

point, tandis que, réduit en poussière, il peut entourer complètement un grand nombre de racines. *La pratique agricole a en effet montré que l'efficacité des engrais est d'autant plus grande que ces engrais sont plus divisés.*

Importance que présentent, malgré leur extrême pauvreté, les dissolutions de certains principes fertilisants contenues dans les sols. — Des travaux relativement récents de M. Schlœsing fils ont montré que les plantes utilisaient les matières fertilisantes insolubles, non seulement par contact direct des racines, mais aussi *en dissolutions extrêmement faibles*[1].

Les eaux circulant dans le sol contiennent des quantités d'acide phosphorique, variant de $0^{mg},1$ à 3 milligrammes. Ces dissolutions extrêmement faibles avaient toujours été considérées comme négligeables pour la nutrition des plantes. M. Schlœsing fils a montré que l'acide phosphorique dissous est capable de se renouveler à mesure que les racines le consomment; de sorte que, pendant la longue période de végétation, les plantes peuvent arriver à retirer de ces dissolutions faibles, mais qui ne changent pas, des quantités relativement importantes de matières fertilisantes réputées insolubles.

Des expériences très nettes ont fait voir que « non seulement il était possible pour les plantes de s'alimenter en acide phosphorique, par exemple, aux dépens des dissolutions infiniment diluées, mais encore que, dans la réalité, elles exerçaient cette précieuse faculté en utilisant les dissolutions qui existent et s'entretiennent au sein des sols naturels ».

Cette utilisation vient s'ajouter à celle des phosphates que les racines peuvent attaquer directement, comme nous l'avons vu.

L'eau des sols peut donc être regardée comme le véhicule d'une bonne part de l'acide phosphorique absorbé par les racines. Sans cette action de l'eau « une partie des phosphates non dissous, que les racines n'auraient pas la chance de rencontrer dans le sol et que, par suite, elles ne pourraient pas attaquer directement, constituerait un fond inutile à la végétation ».

Des résultats analogues à ceux que nous venons d'indiquer pour l'acide phosphorique, ont été obtenus à propos de la potasse, « avec ces différences que les dissolutions du sol sont généralement moins pauvres en potasse qu'en acide phosphorique » (Schlœsing).

---

1. En langage ordinaire, dans l'industrie, on déclare insolubles des corps qui, comme les phosphates, ne se dissolvent dans l'eau qu'en quantités extrêmement faibles (1/10 de milligr. par litre, par exemple). D'après Schlœsing, il convient de donner au mot « soluble » une plus grande extension et de regarder comme doués d'une solubilité suffisante, pour intervenir puissamment dans la nutrition des plantes, des corps qu'on disait insolubles.

CHAPITRE VI

DU ROLE DE L'EAU DANS L'ALIMENTATION DE LA PLANTE

25. L'eau est le véhicule des matières nutritives nécessaires à la vie de la plante. — Nous venons de voir comment la plante absorbe les matières solubles et les matières insolubles nécessaires à sa nourriture. Nous savons maintenant que l'eau n'est pas seulement un aliment fournissant de l'oxygène et de l'hydrogène, elle est de plus le véhicule avec lequel la plupart des éléments nutritifs sont introduits dans la plante.

Plus la plante absorbe de l'eau et plus elle absorbe en même temps de matières nutritives, d'aliments. Si l'eau manque, l'alimentation est entravée, l'accroissement cesse.

Une petite partie de cette eau étant utilisée comme aliment, il faut que la plus grande partie soit expulsée par la plante. **La plante**, en effet, **transpire** : *les feuilles rejettent sans cesse dans l'atmosphère, à l'état de vapeur, l'eau introduite en excès par les racines pour véhiculer les matières nutritives.*

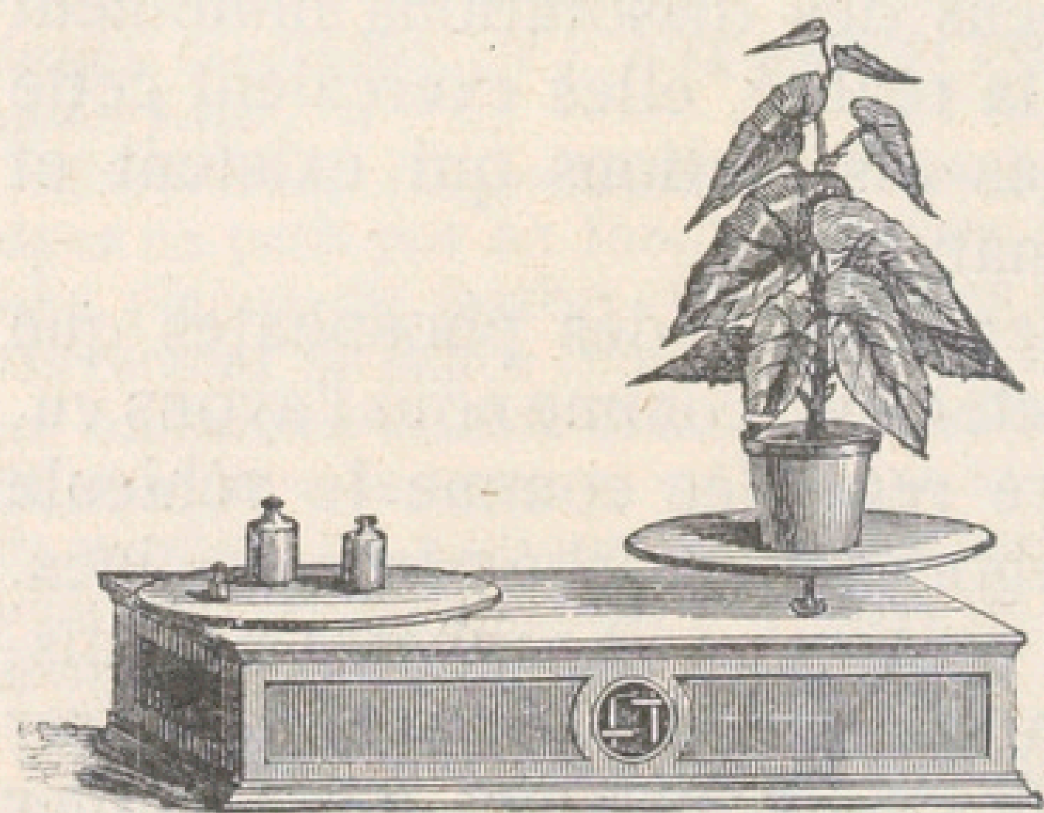


FIG. 22. — *Expérience montrant l'évaporation de l'eau par les feuilles.*

Expérience I. — Sur le plateau d'une balance (fig. 22) mettons un pot renfermant une plante garnie de larges feuilles (un bégonia, par exemple). Recouvrons la terre du pot avec des lames de verre pour empêcher l'évaporation de l'eau que contient cette terre. Puis faisons la tare. Au bout d'une heure, on s'aperçoit que l'équilibre est rompu ; le pot pèse moins par suite du départ de l'eau produit par la transpiration.

La diminution de poids est bien produite par le départ de la vapeur d'eau, car si on met la plante sous une cloche, cette vapeur d'eau se condense et le poids du pot reste le même.

Expérience II. — On peut avoir une idée de la quantité d'eau transpirée en mesurant l'eau directement absorbée par les feuilles.

Mettons une branche garnie de feuilles ou une feuille sur un tube en U plein d'eau en communication avec un autre tube très fin (fig. 23). L'appareil

étant bien fermé, on note le niveau de l'eau dans le tube fin; quelques instants après, on constate que le volume de l'eau a diminué.

Lorsque la température s'élève et que l'air est sec, la transpiration augmente. Il arrive même qu'en été, la transpiration fait perdre à la plante plus d'eau qu'elle n'en prend par ses racines; on voit alors les feuilles se flétrir. La nuit suffit ordinairement pour que la plante reprenne l'eau perdue. Si cette restitution est incomplète, les feuilles continuent à se flétrir, la plante se dessèche et meurt.

La lumière augmente considérablement la transpiration. — C'est ainsi qu'une feuille de blé, qui émet 3 milligrammes de vapeur d'eau à l'obscurité, en émet dans le même temps 168 milligrammes à la lumière[1]. On appelle quelquefois ce phénomène de transpiration à la lumière *chlorovaporisation*[2].

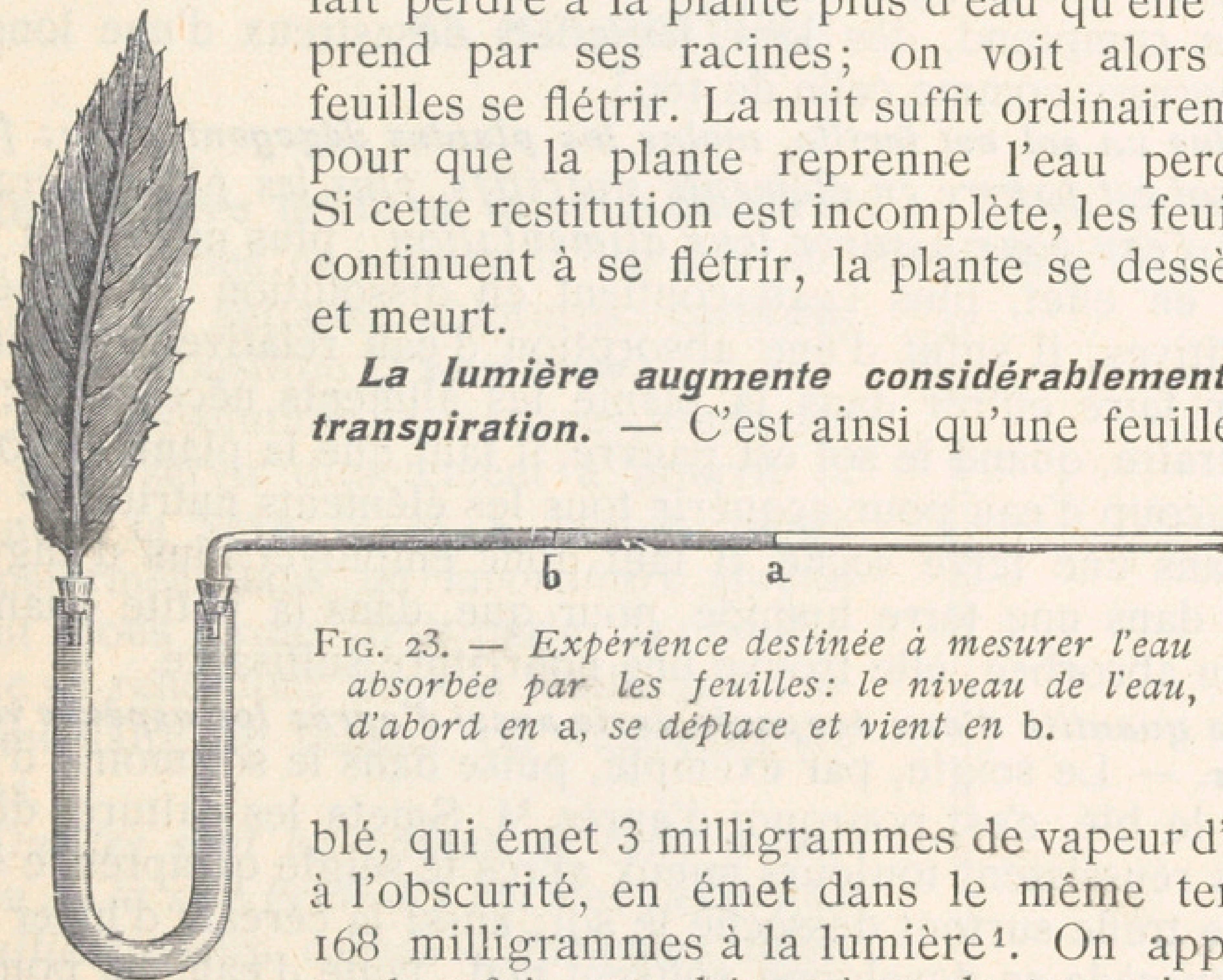


Fig. 23. — *Expérience destinée à mesurer l'eau absorbée par les feuilles: le niveau de l'eau, d'abord en* a, *se déplace et vient en* b.

On conçoit très bien que la transpiration soit plus forte à la lumière : en effet, sous l'action de la lumière, les feuilles, véritables laboratoires, absorbent du carbone du gaz carbonique de l'air pour fabriquer une foule de produits qui sont utiles à la plante. Il faut nécessairement qu'en même temps qu'arrive le carbone, les autres matières premières qui doivent être transformées au laboratoire arrivent en quantité suffisante, de là une absorption d'eau plus considérable amenant plus de matières nutritives.

La quantité d'eau transpirée par les plantes est considérable.

L'évaporation pour une plante de blé est en moyenne de 12 grammes d'eau par jour; pour le seigle $9^{gr},35$; pour l'orge $14^{gr},12$; pour l'avoine $22^{gr},5$.

---

1. Aubert.
2. Parce que la chlorovaporisation a été attribuée à la chlorophylle. Mais comme elle a été constatée aussi chez des plantes dépourvues de matière verte, on ne peut pas expliquer complètement cette accélération de la transpiration par la présence de la chlorophylle.

1 hectare de céréales évapore, par an, de 1 à 2 millions de kilogrammes d'eau[1].

1 hectare de trèfle évapore par an de 6 à 8 millions de kilogrammes d'eau ; un chêne portant 700000 feuilles perd en cinq mois 111 225 kilogrammes d'eau.

On comprend, dès lors, les effets désastreux d'une longue sécheresse comme celle de 1893.

Plus un sol est fertile, moins les plantes dégagent d'eau; *plus un sol est pauvre en éléments nutritifs, plus les plantes évaporent d'eau pour assurer leur alimentation* : plus un sol est fertile, en effet, plus l'eau contient en dissolution de matières nutritives, il suffit d'une absorption d'eau relativement faible pour faire entrer dans la plante les aliments nécessaires; au contraire, quand le sol est pauvre, il faut que la plante absorbe beaucoup d'eau pour acquérir tous les éléments nutritifs.

Dans une terre sèche, il faut donc employer plus d'engrais que dans une terre humide, pour que, dans la petite quantité d'eau absorbée, elle trouve une nourriture suffisante.

La quantité d'eau évaporée varie aussi d'après les espèces végétales. — Le seigle, par exemple, puise dans le sol moins d'eau que le blé, c'est pourquoi d'après M. Smets les cultures dérobées réussissent toujours mieux après le seigle qu'après le blé.

Le trèfle surtout dessèche le sol; aussi la céréale d'hiver qui lui succède se développe souvent mal, faute d'eau. La pomme de terre et les pois utilisent relativement peu d'eau.

Conséquences pratiques. — Le rôle très important que l'eau joue dans l'alimentation de la plante montre combien les *arrosages* et les *irrigations* sont utiles.

L'irrigation des terres procure en moyenne un accroissement de revenu net d'au moins 200 francs par hectare[2] et par conséquent une plus-value foncière de 4000 francs par hectare. Aussi l'État favorise-t-il beaucoup les entreprises d'irrigation; il a créé au Ministère de l'Agriculture (direction de l'hydraulique agricole) un service très important pour les guider.

« Arroser le sol de la France, dit Déhérain, est la grande entreprise qui fera la gloire du XXe siècle et assurera la prospérité agricole, car l'eau est la première condition de la fertilité[3]. »

---

1. D'après Haberlandt, 1 hectare de blé évapore par an 1 179 000 kilogrammes d'eau, le seigle 835 000 kilogrammes; l'orge 1 236 890 kilogrammes, l'avoine 2 277 760 kilogrammes.

2. Déhérain estime que la baisse des denrées agricoles rend cette évaluation un peu exagérée; l'accroissement de revenu n'en est pas moins très important.

3. *Les irrigations*, question très importante, font dans l'*Encyclopédie des connaissances agricoles* l'objet d'un fascicule spécial.

CHAPITRE VII

COMMENT LA PLANTE PRÉPARE SA NOURRITURE

26. La sève brute et la sève élaborée. — L'eau absorbée par les racines et contenant des sels en dissolution (azotates, phosphates, sulfates, chlorures, carbonates, etc.), constitue la ***sève brute.***

Cette dissolution de matières minérales ne peut servir directement à nourrir la plante; la sève brute a besoin d'être transformée dans un *laboratoire spécial* dont nous avons déjà parlé: *la feuille.* Elle se rend donc dans la feuille par l'intermédiaire de canaux ou vaisseaux du bois.

Quelles sont les causes de cette ascension de la sève brute des racines jusqu'aux feuilles? Deux causes principales interviennent : 1° *la poussée des racines;* 2° *l'aspiration exercée par la transpiration qui s'accomplit dans les feuilles*, et dont nous avons parlé.

Expérience I. — Coupons une tige au ras du sol et fixons sur la section un tube recourbé rempli de mercure jusqu'en A B (fig. 24). Au bout de quelque temps la pression en B augmente; le niveau du mercure, en effet, s'abaisse en B et s'élève dans la branche AC. On aperçoit un liquide, la *sève*, qui s'écoule dans le tube. La colonne de mercure soulevée par la sève brute venant des racines peut atteindre plusieurs décimètres. Les racines exercent donc bien une poussée.

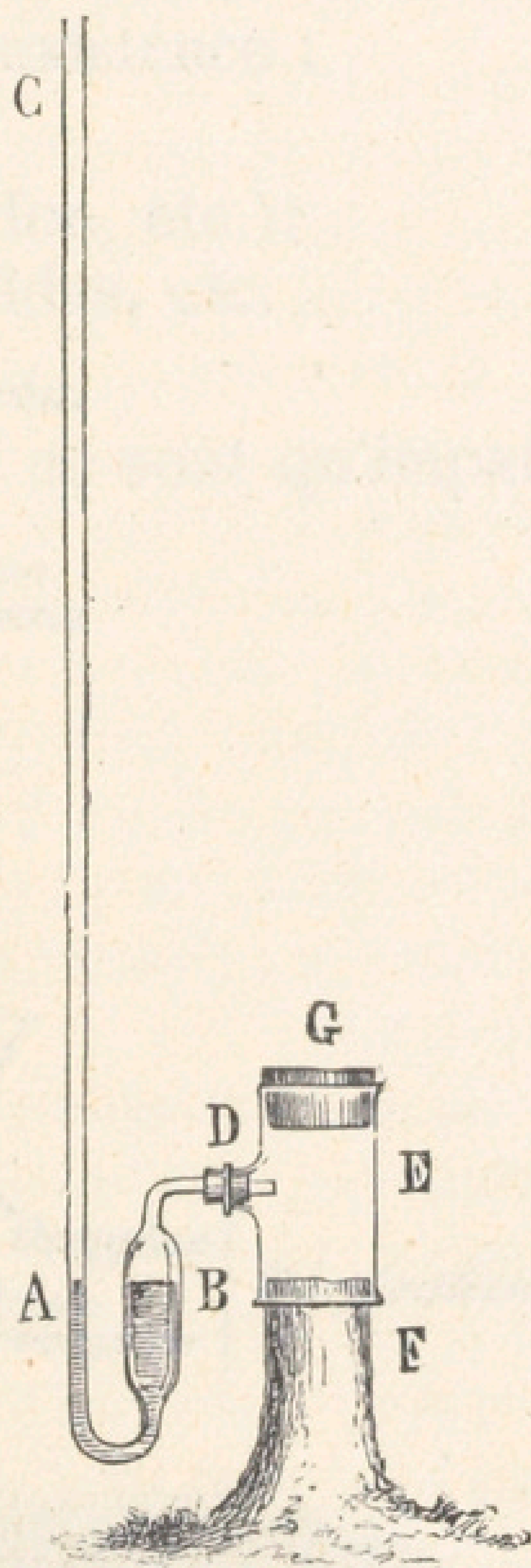


FIG. 24.
EXPÉRIENCE DESTINÉE A MONTRER LA POUSSÉE DES RACINES.

Le tube E *est fixé sur le tronc* F; *il porte latéralement un tube recourbé* BAC, *rempli de mercure jusqu'en* AB, *et il est fermé par un bouchon* G. *On voit bientôt le mercure monter dans la branche* AC.

Expérience II. — Fixons une branche garnie de feuilles à l'extrémité d'un tube de verre dont la partie inférieure plonge dans l'eau (fig. 25) : au bout de quelques instants on voit l'eau monter dans le tube par suite de l'appel ou aspiration produite par la transpiration des feuilles.

La sève brute arrive dans les feuilles, véritables laboratoires de la plante; quelles transformations y subit-elle?

Tout d'abord la plante se débarrasse d'un excès d'eau par la

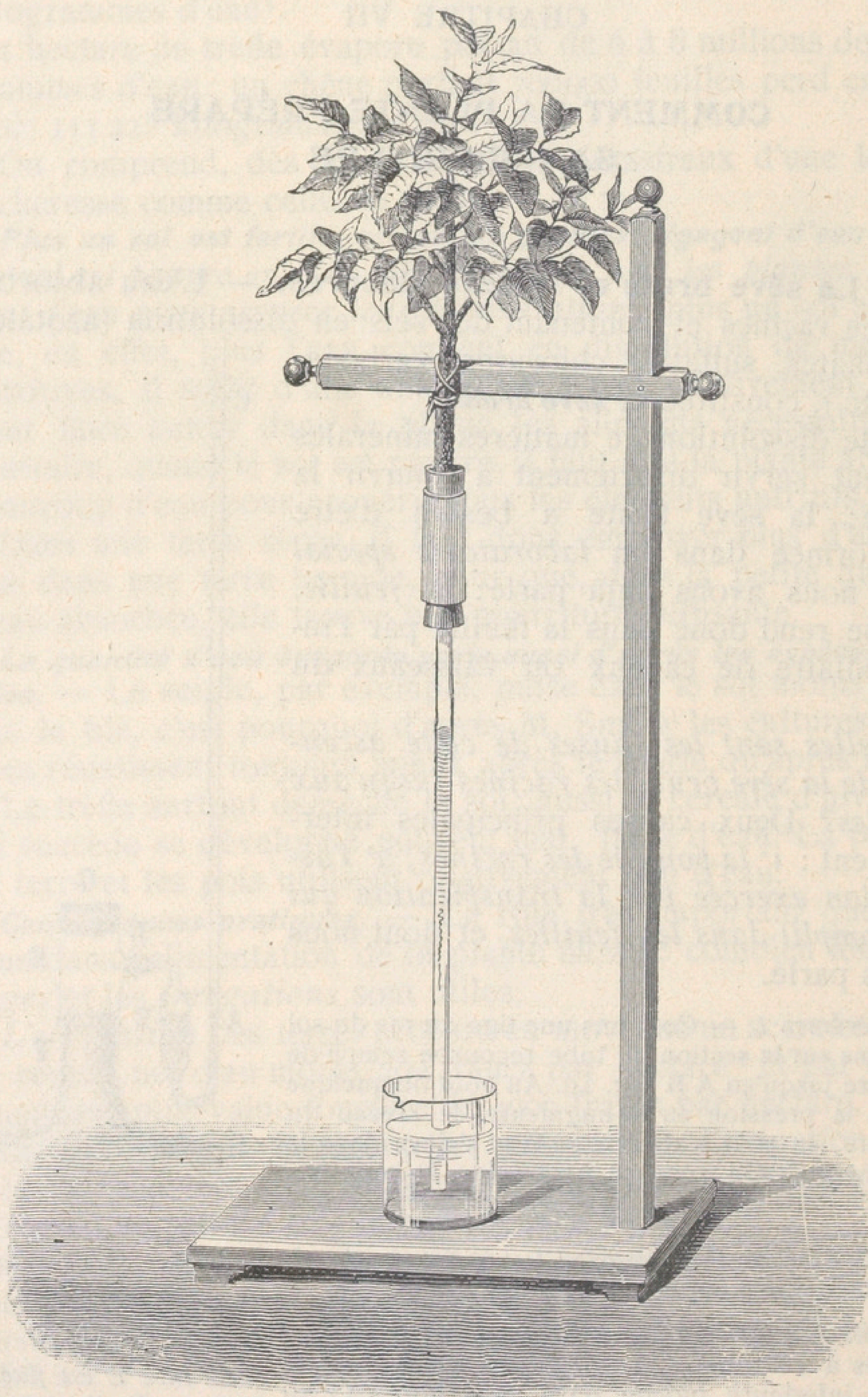


FIG. 25.
EXPÉRIENCE MONTRANT L'ASPIRATION EXERCÉE PAR LES FEUILLES.
L'évaporation qui se produit dans le rameau feuillé détermine l'ascension de l'eau dans le tube.

transpiration (fig. 25). Pendant ce temps, la *chlorophylle*, ma-

tière verte des feuilles, sous l'action de la lumière, fixe le *carbone* de l'acide carbonique de l'air.

Voilà donc dans le laboratoire (feuille) toutes les matières premières nécessaires à la fabrication des aliments servant à la nourriture de la plante :

Carbone;	Azote;
Hydrogène;	Matières minérales;
Oxygène;	Eau, etc.

Avec ces matières la plante fabrique, grâce aux rayons solaires, à la chlorophylle et à la respiration, toutes les substances organiques qui doivent servir à son existence :

Matières azotées;
Hydrates de carbone (glucose, amidon, etc.);
Graisses, tanins, matières albuminoïdes, etc.

La sève brute se transforme en ***sève élaborée.***

Les réactions chimiques qui se produisent ne sont qu'imparfaitement connues. Elles ne se forment qu'à la lumière; à l'obscurité la plante verte vit aux dépens des réserves qu'elles a accumulées pendant le jour. On comprend dès lors l'importance de la lumière pour la plante : sans la lumière du soleil il ne se fait plus aucun travail dans le laboratoire (feuille), la préparation des aliments ne s'effectue plus.

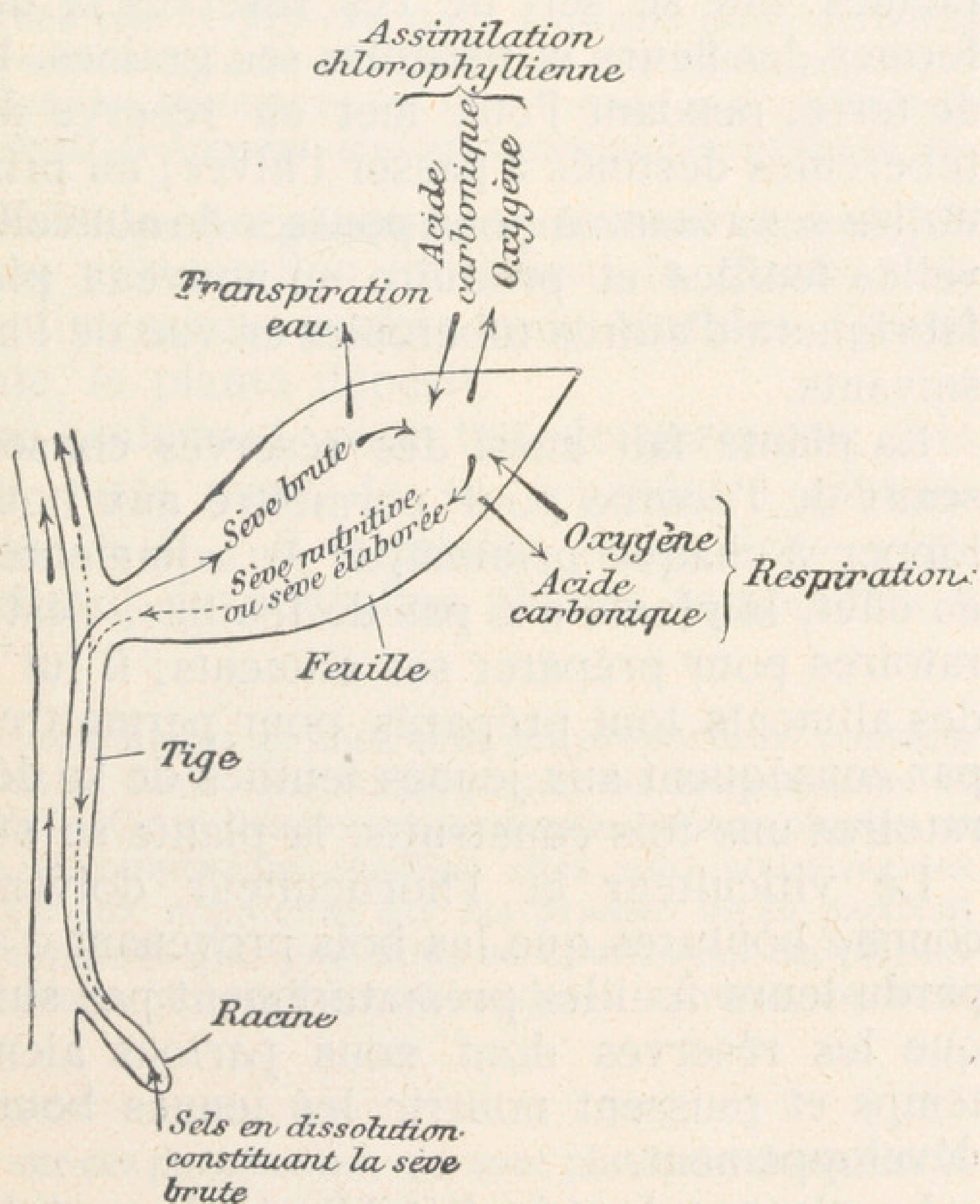


Fig. 26.
Figure théorique d'une plante montrant comment la sève brute se transforme en sève élaborée.

Les aliments fabriqués dans les feuilles, constituant avec l'eau la sève élaborée, doivent être distribués dans toutes les parties de la plante pour nourrir ses

différents organes. La sève élaborée quitte, en effet, la feuille par d'autres vaisseaux que ceux qui l'ont amenée; ces canaux longeant les rameaux, la tige, les racines, la distribuent dans toutes les parties du végétal.

La nourriture fabriquée par les feuilles n'est pas toute utilisée immédiatement; la plante fait des réserves. — Il arrive souvent que les feuilles fabriquent plus d'aliments que la plante n'en a besoin. Ces aliments sont mis en réserve, soit dans le lieu où ils ont été formés, soit dans d'autres parties qui, en général, se renflent. Exemples: tubercules ou tiges souterraines de la pomme de terre, racine de la carotte ou de la betterave contenant du sucre, etc.

Nous utilisons ces réverves pour nos besoins, mais il ne faut pas croire que c'est pour nous que la plante travaille, c'est pour elle. Ainsi la betterave, qui est une plante bisannuelle (vivant deux ans), prépare la première année une certaine quantité de sucre qu'elle met en réserve avec d'autres matières dans ses racines; elle se sert de ces réserves la deuxième année pour former des fleurs et produire ses graines. De même, la pomme de terre, pendant l'été, met en réserve de l'amidon dans ses tubercules destinés à passer l'hiver; au printemps suivant, elle utilise ses réserves pour pousser de nouvelles branches, de nouvelles feuilles et produire un nouveau pied qui, à son tour, fabriquera d'autres tubercules en vue de l'hiver et du printemps suivants.

La plante fait aussi des réserves conservées dans les vaisseaux de l'écorce pour permettre aux bourgeons de se développer à chaque printemps. Au commencement du printemps, en effet, la plante n'a pas de feuilles, c'est-à-dire pas de laboratoires pour préparer ses aliments; il lui faut nécessairement des aliments tout préparés pour permettre aux bourgeons et par conséquent aux jeunes feuilles de se développer. Les laboratoires une fois construits, la plante se suffit à elle-même.

Le viticulteur et l'horticulteur doivent donc n'employer comme boutures que les bois provenant d'arbustes n'ayant pas perdu leurs feuilles prématurément par suite de maladies, afin que les réserves dont nous parlons aient été fabriquées à temps et puissent nourrir les jeunes bourgeons pendant leur développement.

La plante a le soin d'établir également des réserves dans ses graines pour nourrir l'embryon et faire pousser la jeune plantule au moment de la germination. Nous avons vu comment ces réserves sont utilisées, en étudiant la germination (germination du haricot, p. 6).

Les *plantes non vertes*, c'est-à-dire n'ayant *pas de chlorophylle*, ne peuvent pas décomposer l'acide carbonique de l'air et lui prendre du carbone pour se nourrir; comment s'alimentent-elles? Elles ne peuvent vivre qu'aux dépens des autres plantes ou des animaux.

Exemples. — Les *champignons* des bois (agarics, etc.) vivent des matières organiques provenant de la décomposition des êtres vivants, bois mort, feuilles pourries, etc.; la *rouille du blé*, la *carie des céréales*, l'*ergot du seigle* sont des maladies causées par des champignons qui pénètrent dans la plante et se nourrissent de sa substance. La *cuscute*, l'*orobanche*, plantes non vertes, vivent également aux dépens d'autres plantes.

Comment la plante emploie ses réserves. — Les divers matériaux nutritifs mis en réserve (amidon, aleurone, inuline, sucres, cellulose, matières grasses, etc.) ne peuvent être directement utilisés par la plante, ils ont besoin d'être transformés en substances directement assimilables, d'être digérés.

Les phénomènes digestifs chimiques s'accomplissent chez les végétaux de la même manière que chez les animaux : ils s'opèrent au contact de l'eau et sous l'action de certains ferments solubles appelés *diastases*.

A chaque substance de réserve correspond une diastase : ainsi les matières albuminoïdes sont digérées par la *pepsine*, dont l'énergie dans certaines plantes est parfois supérieure à celle du suc gastrique des animaux; la saccharose, que l'on trouve dans les betteraves, est transformée en glucose (assimilable) par le *ferment inversif*; le *ferment émulsif* émulsionne les graisses, etc.

Conséquences de la nutrition des plantes : croissance et multiplication. — Grâce à son alimentation (nutrition) la plante s'accroît et acquiert des dimensions parfois considérables. Quand cette taille est atteinte, la plante dépérit.

La nutrition n'a pas seulement pour but de permettre à la plante de s'accroître. mais aussi de se reproduire (phénomènes de reproduction)[1], il y a formation de graines, véritables œufs d'où sortiront de nouvelles plantes semblables à la première.

Il est à remarquer que les matières azotées sont en proportions considérables dans les jeunes plantes dont elles forment parfois le cinquième et même le tiers du poids total. « Cette richesse excessive des jeunes plantes en matières azotées permet de comprendre combien elles sont nourrissantes et l'on conçoit que les animaux maintenus sur les prairies où ils paissent l'herbe à mesure qu'elle apparaît, qui, par suite, se nourrissent de plantes tendres, renferment d'énormes proportions de matières azotées, se développent rapidement[2]. »

---

1. Nous n'insistons pas sur ces phénomènes qui sont plutôt du domaine de la botanique.
2. Déhérain.

I. *ETUDE DE L'ATMOSPHÈRE*

CHAPITRE VIII

L'ATMOSPHÈRE CONSIDÉRÉE COMME SOURCE D'ALIMENTS POUR LES PLANTES

Nous avons vu que la plante prend sa nourriture à la fois dans l'air et dans le sol. Il est donc utile de connaître l'atmosphère au point de vue des ressources alimentaires qu'elle offre aux végétaux.

Ainsi que le fait remarquer M. Schlœsing « l'atmosphère constitue un milieu sur lequel le cultivateur n'a aucune prise, aucun pouvoir. Le connaissant mieux, il n'en sera pas plus maître. Mais de là ne résulte pas que l'étude en doive être pour lui sans intérêt et sans profit. »

27. L'air atmosphérique. — L'air atmosphérique renferme ainsi que nous l'avons vu p. 34, *Chimie générale*) :

De *l'oxygène*, 21 pour 100;
De *l'azote* 79 pour 100;
De la vapeur d'eau en proportions variables;
De l'acide carbonique 3/10000 de son volume (3 litres sur 10000 litres d'air);
De l'acide nitrique ou azotique;
De l'ammoniaque.

On a démontré que la composition de l'air est constante et partout la même.

La respiration des hommes, des animaux et des plantes, les combustions de nos foyers, de nos usines, consomment chaque jour des quantités énormes d'oxygène. Mais, d'autre part, les parties vertes des végétaux décomposent l'acide carbonique, s'emparent du carbone et restituent l'oxygène (voir p. 15).

La composition de l'air maintenue constante par l'influence des végétaux ne pourrait d'ailleurs être altérée d'une manière sensible par la respiration des animaux qu'au bout de plusieurs milliers d'années.

« Le calcul montre qu'en exagérant toutes les données, il ne faudrait pas moins de huit cent mille années aux animaux vivant à la surface de la terre pour faire disparaître l'oxygène en entier. Par conséquent, si l'on supposait que l'analyse de l'air eût été faite en 1800, et que pendant tout le siècle les plantes eussent cessé de fonctionner à la surface du globe entier, tous les animaux continuant d'ailleurs à vivre, les analystes, en 1900, trouveraient l'oxygène de l'air diminué de 1/8000 de son poids, quantité qui est inaccessible à nos méthodes d'observation les plus délicates, et qui, à coup sûr, n'influerait en rien sur la vie des animaux ou des plantes.

Ainsi, ne nous y trompons pas, l'oxygène de l'air est consommé par les animaux, qui le convertissent en eau et en acide carbonique; il est restitué par les plantes qui décomposent ces deux corps[1]. » Mais il est à remarquer que le magasin d'air est tel, relativement à la dépense des animaux, que la nécessité de l'intervention des plantes pour la purification de l'air n'est nécessaire qu'au bout de quelques siècles.

28. Acide carbonique. — Ce gaz nous intéresse tout particulièrement puisqu'il fournit aux plantes le carbone qui leur est nécessaire.

Nous avons vu que l'air atmosphérique ne renferme qu'une petite quantité d'acide carbonique (3 litres pour 10 000 litres d'air), qu'il s'en forme constamment par suite de la respiration des êtres vivants et des combustions, mais que, par contre, les végétaux, pour leur alimentation, en décomposent une grande partie, rétablissant ainsi l'équilibre.

M. Schlœsing a fait voir que l'on pouvait, en outre, considérer « les eaux marines comme jouant un rôle important dans le maintien de l'uniforme répartition de l'acide carbonique au sein de l'atmosphère. L'eau de mer renferme, en effet, une provision relativement considérable de bicarbonates susceptibles de se dissocier ou de se reconstituer suivant les cas. Si l'acide carbonique diminue dans l'atmosphère, les bicarbonates de la mer en fournissent; s'il augmente, les carbonates neutres en absorbent.

« Ainsi, d'un côté, les mouvements de notre atmosphère et, de l'autre, l'intervention des eaux marines nous défendent contre des variations relativement brusques du taux de l'acide carbonique aérien qui tiendraient à des causes momentanées ou locales. Mais les variations à longue échéance, lentes et continues, nous sont inconnues, et, s'il en existe, nous n'apercevons aucune influence qui les combatte.

Il est fort probable que notre atmosphère a été, dans les temps primitifs, beaucoup plus riche en acide carbonique qu'elle ne l'est aujourd'hui. Son appauvrissement se continue-t-il, et, dans le cas de l'affirmative, ira-t-il jusqu'au point où il causerait la ruine de la végétation et, par suite, la fin de toute vie à la surface du globe? La solution de ces problèmes nous échappe absolument. »

29. Vapeur d'eau. — La vapeur d'eau existe dans l'air en proportions très variables. Nous avons vu comment on y constatait sa présence (Voir *Chimie générale*, p. 35).

A la surface des mers, des fleuves, de toutes les nappes d'eau, l'évaporation se produit d'autant plus active que la température est plus haute et que les couches d'air se renouvellent plus fréquemment. Si l'air chargé de vapeur d'eau vient à se refroidir, une partie de cette vapeur se condense en pluie. Les eaux pluviales se répandent sur le sol, le traversent en partie et forment les sources, les rivières et les fleuves, restituant aux mers l'eau qu'elles avaient fournie.

La vapeur d'eau de l'atmosphère alimente donc la terre en eau et cette eau, ainsi que nous l'avons vu, sert de véhicule aux matières fertilisantes utilisées par les plantes pour leur nourriture.

30. Acide azotique. — L'acide azotique prend naissance dans l'atmosphère par la combinaison directe de l'oxygène de l'air avec l'azote sous l'influence des décharges électriques pendant les orages (voir *Chimie générale*, p. 40).

---

1. *Essai de statistique chimique des êtres organisés*, par MM. Dumas et Boussingault.

L'acide azotique ou nitrique formé se combine en grande partie à l'ammoniaque contenue dans l'air pour donner du nitrate d'ammoniaque solide, en particules très fines que le vent disperse au loin. Les pluies dissolvent ce nitrate et l'apportent à la terre pour l'alimentation des végétaux.

Le poids total d'azote nitrique, apporté ainsi par les pluies sur un hectare de terre, pendant une année, a été trouvé :

En Alsace (d'après Boussingault), égal à $0^{kg},330$;

A Rothamstedt (d'après Lawes, Gilbert), $0^{kg},8$ à $1^{kg},1$;

En Provence (d'après le colonel Chabrier), $2^{kg},8$.

La production d'acide azotique et d'acide azoteux au sein de l'atmosphère est surtout intense dans les régions tropicales, où les décharges électriques ont une fréquence et une intensité extraordinaires.

Les apports d'azote nitrique par les pluies sont peu de choses dans nos pays et n'y doivent guère influer sur la végétation. Mais sous les tropiques, ils peuvent constituer une fumure azotée correspondant à 40 kilogrammes de nitrate de soude par hectare; il est naturel de leur attribuer là une part d'influence sensible sur le magnifique développement des plantes.

31. Ammoniaque. — L'ammoniaque n'existe pas à l'état libre dans l'atmosphère, mais bien sous forme de carbonate d'ammoniaque gazeux et de nitrate d'ammoniaque solide en particules très fines. Ces sels étant très solubles dans l'eau, on les retrouve dans les eaux de pluie.

M. Schlœsing a trouvé que 100 mètres cubes d'air à Paris contiennent de $1^{mmg},5$ à 4 milligrammes; au pic du Midi, M. Müntz a trouvé $1^{mmg},4$. La pluie n'enlève d'ordinaire à l'atmosphère qu'une faible proportion de son ammoniaque.

Les quantités d'ammoniaque que contient l'atmosphère ne peuvent exercer dans l'alimentation azotée des végétaux qu'un rôle peu important; quant à celles que les eaux de pluie apportent aux sols, comme elles se réduisent à quelques kilogrammes par an et par hectare, on conçoit qu'elles n'interviennent que faiblement dans la végétation[1].

En résumé, l'atmosphère fournit aux plantes :

De l'oxygène;

De l'azote libre;

Du carbone (qu'elles prennent à l'acide carbonique);

De l'azote nitrique sous forme de nitrate d'ammoniaque;

De l'azote ammoniacal sous forme de nitrate d'ammoniaque et de carbonate d'ammoniaque.

---

1. Dans l'air, on constate encore la présence de différents gaz : l'ozone, la vapeur d'alcool (d'après Müntz), de petites quantités de gaz carbonés combustibles, de petites quantités d'hydrogène. Le rôle que peuvent jouer ces gaz dans les phénomènes de la végétation est complètement inconnu.

II. *ETUDE DU SOL*

CHAPITRE IX

CONSTITUTION DES TERRES ARABLES

Le sol sert de support à la plante et de magasin pour une partie de ses aliments. On peut dire également avec H. Davy que *le sol est une espèce de laboratoire dans lequel se prépare une partie des aliments destinés aux plantes.*

La plante, nous l'avons vu, puise sa nourriture dans l'air et dans le sol.

L'agriculteur ne peut changer en rien la composition de l'air, laquelle d'ailleurs reste invariable; l'atmosphère échappe complètement à son action. Il n'en est pas de même du sol : le sol, en effet, peut être rendu fertile, on peut l'enrichir, le transformer peu à peu.

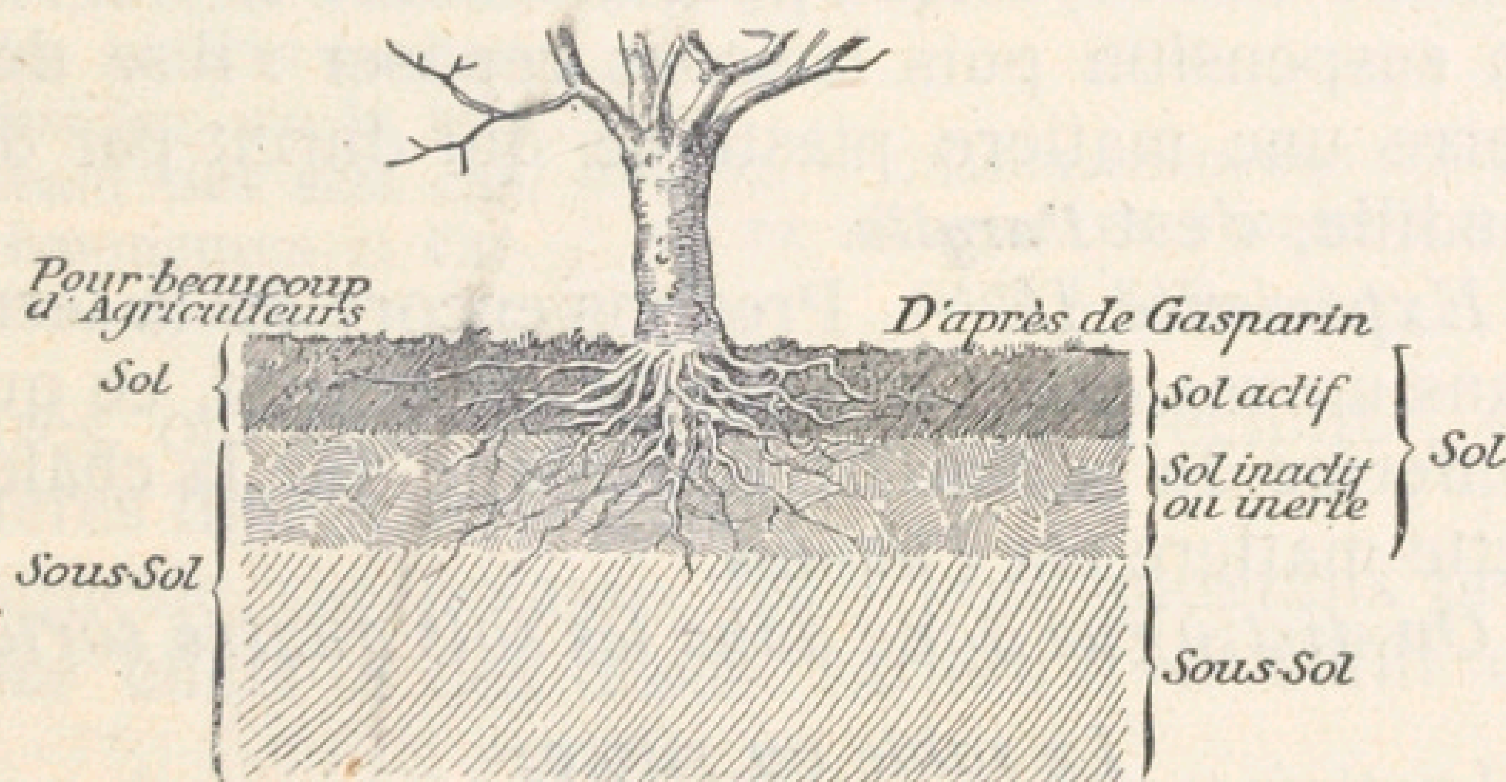


FIG. 26 *bis.* — *Sol et sous-sol.*

Mais pour améliorer la terre, il faut la connaître, savoir distinguer ses qualités et ses défauts. C'est ce que nous allons étudier.

32. Ce que l'on entend par sol et sous-sol. — Avec de Gasparin, nous appellerons *sol* d'un terrain la couche supérieure comprenant l'épaisseur de terre qui a même nature et même état physique.

Le *sous-sol* est la couche placée sous le sol et qui en diffère par sa nature ou son état physique.

---

1. Beaucoup d'agriculteurs appellent *sol* la couche de terre ordinairement remuée par les instruments de culture et *sous-sol* la couche située au-dessous.

On peut diviser le sol : 1° en *sol actif* comprenant la partie du sol ameublie par les instruments de culture; 2° en *sol inactif* constitué par la partie du sol que les instruments de culture n'atteignent pas.

33. Éléments qui entrent dans la constitution des terres arables. — *Expérience I.* — Délayons 20 grammes de terre environ (débarrassée de ses pierres) dans un verre contenant de l'eau, puis après avoir agité vivement laissons le tout en repos pendant quelques instants. Au fond de l'eau bourbeuse se dépose une partie des éléments constituant le ***sable***.

Enlevons la partie liquide et sur le sable versons quelques gouttes d'acide chlorhydrique ou d'acide acétique. Très souvent on observe un dégagement de gaz (une effervescence) qui indique la présence du carbonate de calcium ou ***calcaire.*** Si on lave ensuite, le calcaire (transformé en chlorure de calcium par l'acide chlorhydrique) disparaît et il reste un résidu formé de ***silice*** *pure* (*sable pur*) ou de silicates naturels très peu altérables.

Au liquide trouble que nous avons enlevé ajoutons un peu d'acide chlorhydrique pour dissoudre le calcaire très fin qui est en suspension puis laissons reposer : il se dépose au fond du verre une matière plastique qui durcit par dessiccation et se fendille, c'est ***l'argile.***

Expérience II. — Prenons encore de la terre et chauffons-la dans un vas clos : elle brunit ou noircit, ce qui indique qu'elle renferme de la matière organique que la chaleur a carbonisée; cette matière est ***l'humus.***

On distingue donc dans les sols quatre sortes d'éléments :

Le sable ou silice;
L'argile;
Le calcaire;
La matière organique ou humus.

Ces quatre éléments se trouvent dans les sols en proportions extrêmement variables; l'argile et le calcaire notamment peuvent même y manquer. Nous allons étudier chacun de ces éléments.

I. ARGILE

34. Propriétés de l'argile. — L'argile est une roche tendre se rayant à l'ongle, se délayant dans l'eau et formant avec elle

une pâte plus ou moins liante qui, en se desséchant, devient dure et se fendille. Elle absorbe facilement de l'eau, c'est ce qui explique pourquoi elle s'attache, elle happe à la langue.

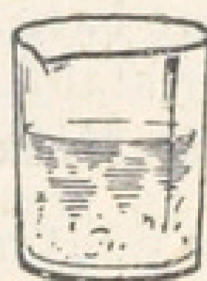
Une fois imbibée, l'argile retient énergiquement l'eau, c'est ce qui fait qu'elle est imperméable.

L'argile pure est blanche; très souvent elle est colorée par des oxydes, notamment par des oxydes de fer qui lui donnent une couleur plus ou moins rouge[1].

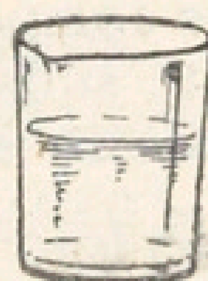
Coagulation des limons ou de l'argile en suspension dans l'eau. — Les limons ou l'argile en suspension dans l'eau se coagulent (tombent au fond de l'eau) au bout d'un certain temps lorsque ces eaux contiennent des sels calcaires en quantité suffisante.

Expérience (fig. 27). — Lavons de la terre végétale ou de l'argile avec de l'eau acidulée pour faire disparaître les sels calcaires, puis délayons cette terre dans de l'eau distillée; les matières limoneuses que contient la terre végétale, ainsi que l'argile, restent indéfiniment en suspension, l'eau reste trouble.

Si au lieu de mettre la terre ou l'argile dans de l'eau distillée, on la met dans de l'eau contenant des sels calcaires, les matières limoneuses et l'argile se précipitent, se coagulent.



Terre lavée avec de l'eau acidulée et délayée dans de l'eau distillée : l'eau distillée se trouble.



Même terre délayée dans de l'eau ordinaire, contenant des sels calcaires : l'eau ordinaire se clarifie.

FIG. 27. — COAGULATION DES LIMONS OU DE L'ARGILE EN SUSPENSION DANS L'EAU.

Les sels calcaires ont donc la propriété de précipiter, de coaguler les matières limoneuses et l'argile.

Les sels de magnésie, de potasse, les acides minéraux produisent les mêmes effets à des doses variées : il suffit de $\frac{1}{5000}$ de chaux sous forme de sel de chaux pour précipiter les limons immédiatement.

Il suffit d'enlever l'agent coagulateur, c'est-à-dire le sel, pour que la matière coagulée entre de nouveau en diffusion dans l'eau. Ces phénomènes de coagulation sont donc purement physiques, les sels introduits n'agissent que par leur présence, sans aucun rôle chimique.

35. Constitution des argiles. — L'argile est formée de sable dont les différentes parties sont réunies par une matière plastique, sorte de colle appelée *argile colloïdale.*

Expérience I. — Lavons une argile avec de l'acide chlorhydrique étendu pour la débarrasser des carbonates terreux (carbonate de calcium, etc.)

1. Voir composition de l'argile (*Chimie générale*, p. 152).

qu'elle peut renfermer, puis mettons-la en suspension dans de l'eau distillée contenant une petite quantité d'ammoniaque (l'ammoniaque favorise la diffusion de l'argile en dissolvant la matière organique qui l'accompagne et qui l'agglomère plus ou moins). Cette eau distillée, abandonnée au repos, laisse déposer dans le vase qui la contient, d'abord des éléments grossiers, puis du sable de plus en plus fin. Au bout de plusieurs semaines et même de plusieurs mois, il ne se produit plus aucun dépôt et le liquide reste trouble, opalin.

Le dépôt formé n'est pas plastique comme de l'argile, on reconnaît que c'est du sable fin.

Quant au liquide restant trouble, si on l'additionne d'une très petite quantité d'un sel calcaire (ou d'un acide), comme nous avons fait dans les expériences précédentes, on y voit des flocons qui se précipitent rapidement. Ce précipité lavé sur un filtre, puis desséché, donne une matière dure d'apparence cornée que l'analyse chimique reconnaît pour un silicate d'aluminium (même composition que l'argile pure).

Cette substance incristallisable qui se rapproche beaucoup des colles vulgaires a été appelée par M. Schlœsing[1] *argile colloïdale.*

Expérience II. — On peut mettre en suspension dans l'eau le sable et l'argile colloïdale obtenus dans l'expérience précédente, puis précipiter le tout en ajoutant du chlorure de calcium ou de l'acide azotique. Il se reforme de l'argile identique à celle que l'on a mise en expérience.

De ces deux expériences, nous pouvons donc déduire que l'argile est formée de deux parties : *le sable et l'argile colloïdale qui agrège ce sable.*

Les argiles sont d'autant plus plastiques qu'elles contiennent plus d'argile colloïdale. La proportion de cette substance dans les argiles est faible, elle varie de 0,5 à 1,5 pour 100.

Conséquences pratiques des observations précédentes. — I. Le calcaire, en dissolution dans l'eau qui circule à travers le sol, donne une certaine permanence aux effets du labour : le labour, en effet, a pour but de diviser le sol en particules laissant circuler entre elles l'air, l'eau et les racines des plantes. Ces particules, sous l'action de l'eau, et sans les sels calcaires qui coagulent l'argile les réunissant, s'écrouleraient et feraient une pâte imperméable arrêtant l'eau.

L'eau de pluie (eau distillée), avant de pénétrer profondément dans le sol, se charge d'une certaine quantité de sels calcaires suffisante pour maintenir la coagulation de l'argile. Mais quand la pluie tombe avec violence, la surface du sol est désagrégée, l'eau n'a pas le temps de dissoudre des sels calcaires; la terre se couvre alors d'une couche pâteuse peu perméable qui préserve les couches situées au-dessous. C'est ainsi, fait remarquer M. Schlœsing, que la terre végétale trouve sans cesse dans les sels qu'elle renferme des agents qui combattent

1. L'auteur des expériences précédentes.

les effets physiques de la pluie et prolongent la durée de son ameublissement.

II. Les expériences précédentes nous font comprendre maintenant pourquoi les eaux de drainage ou de source sont limpides ou troubles. Si ces eaux contiennent assez de sels calcaires pour coaguler les limons, elles sont limpides; dans le cas contraire, elles sont troubles.

Certaines sources ordinairement limpides se troublent après des pluies abondantes ou persistantes parce que ces eaux de pluies n'ont pas le temps, dans leur passage à travers le sol, de se charger d'une quantité suffisante de calcaire. Le même fait se produit dans la plupart des rivières au moment des crues.

Les cours d'eau pauvres en sels calcaires sont constamment troubles. Exemple : les eaux de la Garonne et de la Loire[1].

II. SABLE

36. Etude du sable au point de vue agricole. — Nous avons vu (p. 52.) ce que l'on appelle vulgairement sable : ce sont les éléments les plus grossiers qui se précipitent rapidement quand on délaye de la terre dans de l'eau. En réalité, dans la terre, en dehors de l'argile colloïdale et de la matière organique, il n'y a que du sable.

Le sable provient de la désagrégation des roches sous l'action de l'eau, de l'acide carbonique et de l'oxygène de l'air. Il divise les éléments fins du sol, rendant ainsi le sol perméable et meuble.

Comme les éléments fins, il est revêtu de matière organique laquelle est ainsi extrêmemnt diffusée dans la terre et parfaitement à la portée des plantes.

Expérience. — Pour constater la présence de cette matière organique, il suffit de calciner le sable obtenu comme nous l'avons indiqué; le sable prend une coloration brune due à la carbonisation de la matière organique (Voir expérience II, page 52).

Le sable peut être *siliceux*, il n'exerce alors qu'une action physique, celle que nous venons de citer.

Il peut également être en partie *calcaire* ou être composé de feldspath, etc. : dans ce cas, il joue un rôle chimique important

---

1. Les eaux de la Garonne contiennent 36 milligrammes de chaux et 1^{mg},6 de magnésie par litre; celles de la Loire 27 milligrammes de chaux et 2^{mg},9 de magnésie par litre.

Les eaux potables que l'on capte pour l'alimentation des villes doivent contenir au moins 70 à 80 milligrammes de chaux par litre si on veut qu'elles puissent se clarifier spontanément dans des bassins de dépôt.

dans les sols, comme nous le verrons plus loin; il sert à l'alimentation de la plante par la chaux et surtout par la potasse qu'il contient.

III. CALCAIRE

37. Étude du calcaire au point de vue agricole. — Le calcaire que l'on trouve dans les sols provient de la désagrégation des roches calcaires.

On le trouve tantôt à l'état très fin, comme dans les argiles marneuses, tantôt plus ou moins grossier, jouant alors le même rôle que le sable, divisant les éléments fins du sol. Il est toujours accompagné des impuretés des roches dont il provient : oxyde de fer, argile, etc.

Le calcaire (ou carbonate de calcium ou encore carbonate de chaux) se dissout dans l'eau qui circule à travers le sol, parce que cette eau contient toujours une certaine quantité de gaz carbonique[1] : il se forme du bicarbonate de calcium. C'est ce sel qui intervient surtout dans la coagulation des argiles et, par conséquent, dans l'ameublissement de la terre végétale. Circulant facilement dans le sol sous cette forme, il donne la chaux nécessaire à l'alimentation des plantes.

Nous verrons comment cette circulation est la cause de pertes importantes de chaux dans les eaux de drainage et comment elle nécessite des apports importants de chaux dans les terres (voir Chaulage, p. 192).

IV. MATIÈRE ORGANIQUE OU HUMUS

38. Ce que c'est que la matière organique ou humus. — La matière organique que nous avons constatée dans la terre (p. 52) est appelée *humus*. Elle est le résultat de la décomposition des corps organisés, plus spécialement des végétaux (résidus végétaux, racines de plantes mortes, débris de feuilles et de tiges), sous l'influence de l'oxygène, de l'humidité et, plus encore, *sous celle* de *micro-organismes*[2]. Ces micro-organismes, êtres organisés extrêmement petits, travaillent à la désorganisation de la

---

1. Le carbonate de calcium est soluble dans l'eau chargée de gaz carbonique (voir *Chimie générale*, p. 138).

2. La transformation de la matière organique du fumier sous l'action de certains micro-organismes nous donnera une idée de l'influence des microbes du sol sur la formation de l'humus (p. 120).

substance végétale et à la restitution des principes empruntés par les plantes à l'air et au sol. Les ferments ne sont pas les seuls êtres qui contribuent à la formation de l'humus : les champignons et les vers de terre peuvent y participer également (voir p. 104).

L'humus n'est pas une substance de composition définie; il représente un mélange de composés organiques en voie d'altération ou de transformation. Ces corps composés, que l'on appelle quelquefois *corps humiques*, sont les uns neutres, les autres acides; ils se présentent sous l'aspect de matières brunes ou noires incristallisables; ils contiennent du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et des quantités variables d'azote. Le terreau de jardinier et le fumier contiennent de grandes quantités de ces corps humiques.

En l'absence de bases, l'humus offre une réaction acide (de là le nom d'*acide humique* qu'on lui donne quelquefois). Très souvent, les corps humiques se trouvent dans le sol ou associés ou combinés à la chaux, à la magnésie, à la potasse, à la soude, à l'oxyde de fer et l'alumine, formant ainsi des *humates*. Toutes ces combinaisons ont un pouvoir colorant très grand, ce sont elles qui donnent à la terre la plus grande partie de sa couleur foncée.

D'après M. Grandeau, l'humus formerait avec les éléments nutritifs du sol de véritables combinaisons que les plantes peuvent facilement absorber. Les phosphates par exemple, insolubles et se laissant difficilement absorber, formeraient avec les corps humiques des composés pénétrant plus facilement dans les plantes. Ces corps humiques feraient ainsi subir aux substances nutritives insolubles une sorte de digestion préalable qui faciliterait leur assimilation. On trouve, en effet, dans l'humus des proportions notables de *matières minérales* diverses qui sont associées ou combinées avec lui.

Suivant M. Dumont, la *matière noire*, partie vraiment active de l'humus, serait formée d'*humates* et d'humophosphates naturels.

Expérience. — *Extrayons du terreau de jardinier un peu d'acide humique* : traitons du terreau avec de l'acide chlorhydrique étendu, plaçons le tout sur un filtre et lavons avec de l'eau distillée. La matière lavée est introduite dans un flacon contenant une solution étendue d'ammoniaque; on agite, il se forme un dépôt composé de matières sableuses et de débris organiques non attaqués; la liqueur surnageante, fortement colorée en brun, est une solution étendue d'humate d'ammonium. On retire ce liquide et on y verse de l'acide chlorhydrique qui met l'acide humique en liberté : on voit se former des flocons bruns d'acide humique.

Une solution de sels de calcium, de fer, d'aluminium donnera des humates insolubles que l'on peut retirer.

Le rôle de la matière organique dans les sols est très important, tant au point de vue chimique que nous examinerons plus loin (p. 69), qu'au point de vue physique que nous examinerons dès maintenant.

39. Influence de la matière organique sur l'ameublissement du sol. — La matière organique, l'humus, a une influence importante sur l'ameublissement du sol : *elle ameublit les terres trop fortes, et rend plus fortes les terres trop légères.*

Une proportion de 1 pour 100 d'humus ou acide humique mêlé intimement à du sable ou du calcaire suffit pour donner au mélange une cohésion remarquable, aussi grande que celle qu'auraient pu donner 11 pour 100 d'une argile très plastique; le mélange résiste à l'arrosage sans se délayer.

L'humus agit donc comme un ciment reliant les différentes particules fines de la terre. Ainsi s'explique le vieil adage des cultivateurs : *le terreau donne du corps aux terres trop légères.*

Les deux ciments que l'on rencontre dans la terre végétale (argile, ciment minéral, et acide humique, ciment organique) n'ajoutent point leurs effets; au contraire, l'acide humique, ainsi que le démontrent les expériences de M. Schlœsing, diminue la cohésion de l'argile. Ce qui explique encore cet autre dicton très juste : *le terreau ameublit les terres trop fortes.*

Les humates seuls, une fois durcis par la dessiccation, ne peuvent plus, comme l'argile, former une pâte liante, plastique, en présence de l'eau, excepté s'ils sont mélangés à de l'argile. « D'où il résulte que le concours des deux ciments a la meilleure influence sur la terre végétale. Les humates seuls ne suffiraient pas à lui assurer sa division en particules. Une terre contenant des humates et privée d'argile pourrait bien conserver, après labour, l'état particulaire; mais lorsque le piétinement du cultivateur et des animaux l'aurait réduite en poussière, elle ne s'agglutinerait plus de nouveau sous l'action de l'eau; cette agglutination se reproduit quand les humates sont accompagnés d'argile[1]. »

Comme on le voit, au point de vue physique la matière organique, l'humus, joue un rôle considérable. Il est important qu'elle ne disparaisse pas des sols. « Il est vrai qu'elle s'y renouvelle incessamment par la décomposition des débris végétaux que laissent après elles les récoltes. Mais, d'autre part, elle est elle-même détruite, ainsi que nous le verrons, par l'effet des combustions lentes et de la nitrification; et la destruction peut l'emporter sur la production. *On voit par là le danger que présente l'emploi exclusif des engrais purement chimiques* (lesquels ne contiennent pas de matière organique). *S'ils ne sont pas accompagnés* d'engrais organiques (comme le fumier par exemple), ils peuvent modifier l'état physique du sol au point de lui enlever des qualités de première importance et de diminuer beaucoup sa fertilité[2]. »

---

1. et 2. D'après M. Schlœsing.

CHAPITRE X

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES TERRES ARABLES

Nous avons vu que la plante a besoin, pour vivre, d'enfoncer ses racines dans un sol stable, aéré et humide. L'étude des propriétés physiques des terres doit donc avoir essentiellement pour objet l'examen des conditions qui assurent dans le sol la fixité des racines, la circulation de l'air et de l'eau.

40. Absorption de l'eau par les divers éléments des terres arables. — I. Pour avoir une idée de la *pénétration de l'eau au travers des éléments de la terre arable* (sable, calcaire, argile, humus) ainsi que de *l'absorption de l'eau par ces éléments*, on peut faire l'expérience suivante :

Expérience I. — On dispose des entonnoirs sur des éprouvettes longues et étroites (fig. 28); ces entonnoirs sont bouchés avec un peu de ouate pouvant laisser passer l'eau, mais arrêtant la terre. Dans l'entonnoir n° 1, on met 100 grammes de sable sec (sable blanc de Fontainebleau, par exemple); dans le n° 2, 100 grammes de calcaire terreux (blanc de Meudon); dans le n° 3, 100 grammes d'argile plastique; dans le n° 4, 100 grammes d'humus[1].

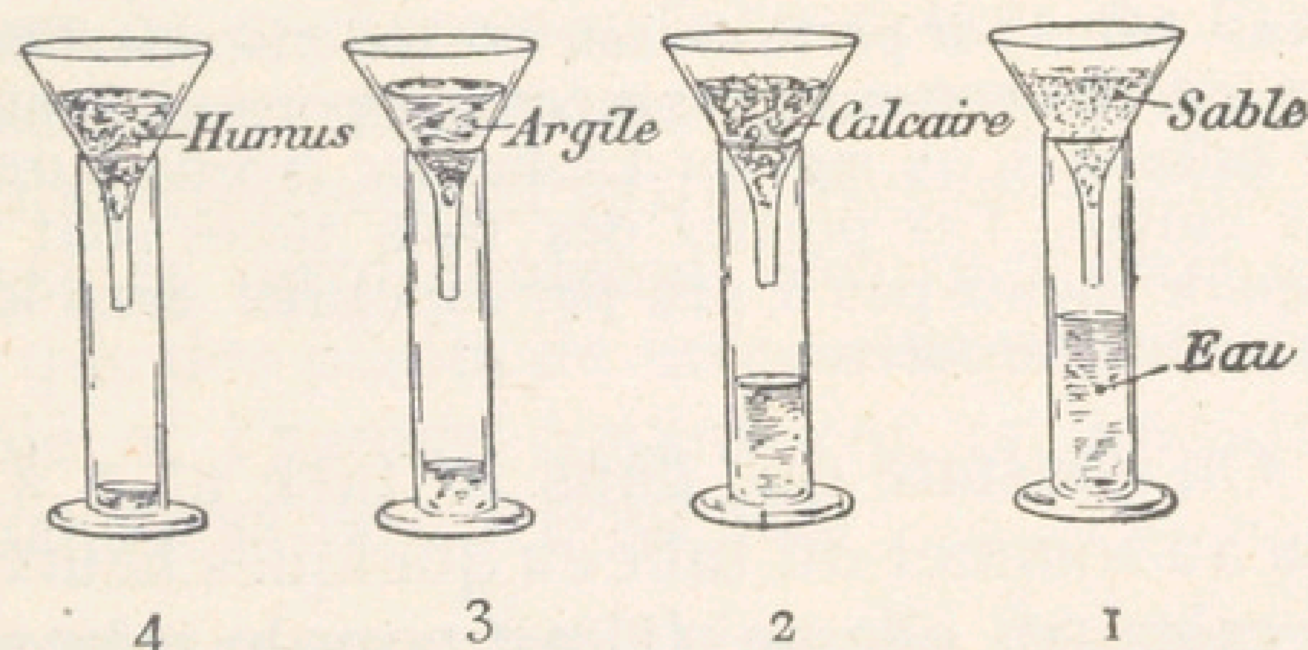


FIG. 28. — ABSORPTION DE L'EAU PAR L'HUMUS, L'ARGILE, LE CALCAIRE ET LE SABLE.

La quantité d'eau reçue dans les éprouvettes montre celle qui a été retenue par ces différents éléments.

On verse d'un seul coup 100 centimètres cubes d'eau à la surface de chaque entonnoir. Quand l'écoulement de l'eau des entonnoirs dans les éprouvettes a cessé, on mesure l'eau reçue et, par différence, l'eau gardée par les éléments.

Les résultats obtenus sont les suivants[2] :

	Pénétration de l'eau au travers des éléments.	Absorption de l'eau par les éléments.
Sable	Rapide.	Très faible.
Calcaire.	Lente.	Notable.
Argile.	Très lente.	Très considérable.
Humus	Très rapide.	Très considérable.

1. Pour obtenir l'humus, prendre du terreau de jardinier et le mettre dans de l'eau, le sable tombe au fond et l'humus surnage à la surface.
2. D'après M. Déhérain.

On peut donc en déduire (comme le montre d'ailleurs la pratique) que les terres riches en humus s'imbibent très vite et retiennent beaucoup d'eau; les terres argileuses ne s'imbibent que lentement, mais conservent une forte dose d'humidité; les terres sablonneuses se laissent traverser facilement et ne gardent que très peu d'eau.

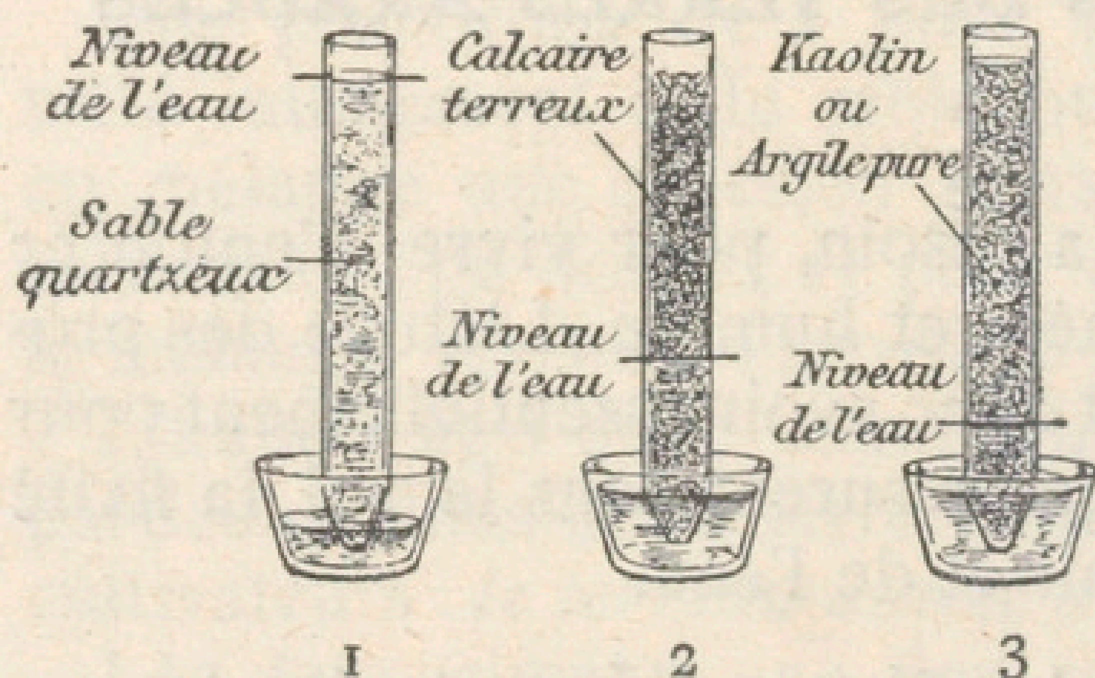


Fig. 29. — Ascension des eaux souterraines dans le sable, le calcaire et l'argile.

Le trait (niveau d'eau) marqué sur les tubes indique approximativement la hauteur à laquelle s'est élevée l'eau.

II. Pour avoir une idée de l'*ascension des eaux souterraines dans les éléments des terres arables* on peut faire l'expérience suivante (fig. 29) :

Expérience II. — On prend quatre tubes de $0^m,40$ environ terminés en pointe; dans le tube n° 1, on met du sable quartzeux blanc avec un tiers de son poids de sulfate de cuivre desséché et devenu blanc par perte de son eau de cristallisation ; dans le tube n° 2, on met du calcaire terreux et la même proportion de sulfate de cuivre blanc; dans le tube n° 3, on met du kaolin sec (argile pure) avec également du sulfate de cuivre. Les pointes des trois tubes sont plongées dans de l'eau. Le liquide monte peu à peu par capillarité dans les tubes en ramenant au bleu le sulfate de cuivre.

On constate que dans le tube n° 1 à sable, l'eau monte jusqu'au sommet du tube en quelques heures, alors que, dans le n° 2 à calcaire, elle ne s'élève pour le même temps qu'à 2 ou 3 centimètres de hauteur et dans le n° 3 à argile qu'à 1 centimètre.

Comme le fait remarquer M. Déhérain « un banc d'argile de quelque épaisseur empêche ainsi l'arrivée, aux terres superficielles, des eaux qui se sont infiltrées au-dessous de lui; tandis qu'au contraire, des eaux coulant à sa surface s'élèvent facilement dans les sables jusqu'à une assez grande hauteur et permettent souvent la culture de terres qui, au premier abord, paraîtraient absolument stériles ».

III. Les terres ont la propriété de condenser une petite quantité de la vapeur d'eau contenue dans l'air. Cette eau exerce sur les plantes une action sensible mais assez restreinte pour que nous n'insistions pas[1].

---

1. Les expériences de M. Heinrich montrent, qu'en général, l'eau que les terres peuvent prendre dans l'atmosphère ne présente guère d'utilité puisque ces plantes se fanent quand les terres renferment encore plus d'eau qu'elles n'en prennent à l'air.

41. Évaporation de l'eau par les éléments des terres arables. — ***Dessiccation des terres.*** — Les divers éléments des terres arables, alors qu'ils sont imbibés d'eau, perdent peu à peu, lorsqu'ils sont exposés à l'air, une fraction de l'eau qu'ils ont absorbée. Toutes choses égales, *la dessiccation est rapide pour le sable, lente pour le calcaire fin et l'argile. La dessiccation est d'autant plus lente que les éléments sont plus fins.*

Au bout de quelque temps, l'évaporation produit à la surface de la terre arable une croûte sèche qui garantit les couches profondes contre la dessiccation, mais aussi contre une bonne aération. Cette croûte se produit dans les terres argileuses ou celles à grains très fins.

Même dans l'air *sec*, la totalité de l'eau absorbée par les terres n'est pas évaporée; le sol en conserve une proportion variable selon sa nature : les terres sablonneuses ou calcaires en conservent de très faibles quantités, les terres argileuses des quantités beaucoup plus notables; les terres riches en humus des quantités relativement très fortes[1].

Malheureusement ces réserves sont bien loin d'être utilisables par les racines en temps de sécheresse; l'absorption de l'eau par les plantes cesse longtemps avant que la terre soit tout à fait sèche : sous un gazon entièrement grillé, Reiset trouva, à $0^{m},20$ de profondeur, que la terre contenait encore 8 pour 100 d'eau. Sacchs a montré que des plants de tabac commençaient à se flétrir quand le sable et l'humus contenaient 12 pour 100 d'eau, l'argile 8 pour 100, le sable 1,5 pour 100.

42. Passage de l'air au travers des éléments des terres arables. — Nous avons vu (page 33) que les racines des plantes respirent; cette respiration ne peut se faire que si le sol est perméable à l'air et si l'air peut s'y renouveler, car une terre humide modifie rapidement l'air dans laquelle elle se trouve[2].

Les expériences de M. Déhérain ont montré que sur les quatre éléments constitutifs des terres arables, le sable et l'humus sont absolument perméables; le calcaire et l'argile, quand ils sont humides et non fendillés, opposent au passage de l'air un obstacle absolu, plus durable pour l'argile que pour le calcaire terreux.

43. Adhérence et retrait de la terre végétale. — Les terres, si peu qu'elles renferment d'argile ou d'humates, gardent

1. M. Masure a montré que l'humus ne laisse plus évaporer l'eau qu'il contient, quand il renferme encore 41 pour 100 d'eau.

2. Après quelques jours, on ne trouve plus d'oxygène dans l'air enfermé dans un flacon avec de la terre humide (Déhérain).

quelque cohésion après qu'elles ont été mouillées, puis séchées. A proportion égale d'argile ou d'humates, les terres durcissent d'autant plus en séchant qu'elles sont plus fines. Les terres à éléments très fins se mettent en boue quand il pleut et deviennent dures quand il fait sec.

En se desséchant, la terre diminue sensiblement de volume; elle durcit et se fendille. Dans certains cas le retrait est assez considérable pour rompre les jeunes racines des plantes.

Si l'on considère les différents éléments des terres arables, on constate que c'est l'argile qui subit le plus de retrait, vient ensuite l'humus, puis le calcaire terreux en poudre fine; le sable n'éprouve aucun retrait.

44. Quantité de chaleur emmagasinée par la terre végétale. — Le développement des plantes ne se produit que sous l'action d'une certaine quantité de chaleur.

La chaleur que reçoit la terre végétale est presque exclusivement empruntée au soleil. La combustion du fumier et des matières organiques ne produit qu'un échauffement peu sensible, insignifiant par rapport à celui que fournit le soleil. Le fumier ne donne une réelle chaleur que lorsqu'on l'emploie en grande abondance, comme dans les couches chaudes des jardiniers.

La quantité de chaleur emmagasinée et conservée par un sol dépend de plusieurs conditions : du pouvoir absorbant, de la conductibilité, de l'état d'humidité et de la coloration du sol, de l'intensité de l'action du soleil (laquelle dépend de l'obliquité des rayons, de la durée des jours, de l'état du ciel), enfin de l'orientation du terrain et de la température de l'air.

Le degré d'humidité d'un sol exerce une grande influence sur l'échauffement de ce sol, il peut même masquer complètement l'action exercée par les autres facteurs : entre deux lots d'une même terre exposés au soleil, l'un sec, l'autre humide, Schübler a trouvé une différence de température de huit degrés dans la couche superficielle. L'abaissement de température pour le lot humide est dû à l'évaporation.

A égalité d'humidité, la coloration des sols exerce une influence sensible sur l'échauffement de ces sols par les rayons solaires; les terres noires s'échauffent plus facilement que les terres peu colorées.

45. Classification des terres. — La proportion variable des quatre éléments des terres arables (argile, sable, calcaire, humus), dont nous venons d'étudier les propriétés physiques, donne des terres très différentes que l'on a soumises à une classification.

Selon la prédominance de l'un ou de l'autre, on a des terres *argileuses*, *sablonneuses*, *calcaires* ou *humifères*.

Les terres dans lesquelles les quatre éléments sont associés en proportions donnant à ces terres les meilleures qualités sont appelées *terres franches*.

Une *terre franche* moyenne renferme, en général, pour 100 parties :

20 à 30 pour 100 d'argile;
50 à 70 pour 100 de sable;
5 à 10 pour 100 de calcaire fin;
4 à 10 pour 100 d'humus.

Les *terres argileuses*, que l'on appelle encore terres fortes, sont celles qui contiennent plus de 30 pour 100 d'argile[1];

Les *terres sablonneuses*, que l'on appelle encore terres légères, sont celles qui contiennent plus de 70 pour 100 de sable[2];

Les *terres calcaires* sont celles qui contiennent plus de 10 pour 100 de calcaire fin[3];

Les *terres humifères* ou terreaux sont celles qui contiennent plus de 10 pour 100 d'humus[4].

Entre ces différentes terres se classent des terres intermédiaires, les terres *argilo-calcaires* : elles contiennent à la fois une proportion notable d'argile et de calcaire avec prédominance de l'argile, peu de sable; les terres *argilo-sableuses* contiennent à la fois une proportion notable d'argile et de sable (par exemple 35 pour 100 d'argile et 60 pour 100 de sable), etc.

De sorte que l'on peut avoir la classification suivante :

1° Terres franches;
2° Terres argileuses;
3° Terres argilo-sableuses;
4° Terres argilo-calcaires;
5° Terres argilo-humifères;
6° Terres sableuses;
7° Terres sablo-argileuses;
8° Terres sablo-calcaires;
9° Terres sablo-humifères;
10° Terres calcaires;
11° Terres humifères.

46. Variabilité des conséquences à déduire des propriétés physiques des terres. — Les propriétés physiques d'une terre

1. Les plantes qui y dominent sont : le tussilage pas-d'âne, le lotier corniculé, l'agrostide traçante, la laitue vireuse, la chicorée sauvage, etc.

2. Les plantes qui y dominent sont : la pensée sauvage, l'élyme des sables, l'avoine à chapelet, la fétuque rouge, etc.

3. Les plantes qui y dominent sont : les trèfles, la minette, la sauge, le fumeterre, le chardon, la germandrée petit-chêne, l'arrête-bœuf ou ononis, la potentille printanière, etc.

4. Les plantes qui y dominent sont : le carex, les prêles, les sphaignes, les joncs, la linaigrette, etc.

n'influent pas d'une façon invariable sur sa qualité. Une terre peut avoir des propriétés physiques déterminées pouvant la faire considérer comme mauvaise, alors que placée dans des conditions particulières, elle peut être bonne. Exemples :

I. **Les terres légères ayant un sous-sol perméable** souffrent généralement de la sécheresse, ce qui est facile à comprendre, l'eau ne pouvant y séjourner; on peut les considérer comme mauvaises. Cependant si le climat y amène des pluies abondantes, ou si on peut les irriguer, ce défaut disparaît et elles peuvent devenir très fertiles; c'est ce qui a lieu pour les belles prairies des Vosges soumises à des irrigations.

II. **Les terres légères à sous-sol imperméable** paraissent, à un examen superficiel, toutes très bonnes. Cependant, sous un climat légèrement humide, elles ont des valeurs très différentes suivant qu'elles sont inclinées ou, qu'au contraire, elles sont horizontales. Elles ne sont fertiles que lorsque le sous-sol est assez incliné pour permettre l'écoulement des eaux à la surface du sous-sol imperméable. Dans le cas contraire, ce sont souvent des landes (landes de Gascogne).

III. **Les terres fortes à sous-sols imperméables** sont mauvaises parce qu'elles ne permettent pas l'écoulement des eaux; elles deviennent de bonnes terres à blé si l'on y pratique l'assainissement par le *drainage*.

IV. **Les terres fortes à sous-sols perméables** en général sont de bonne qualité; elles deviennent meilleures quand on les ameublit jusqu'au sous-sol pour que l'égouttage soit facile.

47. Le travail du sol et les propriétés physiques des terres. — Le travail du sol est nécessaire puisqu'il faut que les racines des plantes s'enfoncent dans un sol *aéré* et *humide*.

Le travail de la terre la rend très poreuse et l'aère, mais ce travail n'a pas spécialement pour but de l'aérer, il a pour but aussi d'assurer la pénétration de l'eau dans le sous-sol.

Quand on ameublit les couches superficielles par un labour de déchaumage, on favorise la pénétration de l'eau, non seulement dans ses couches superficielles, mais dans la terre située au-dessous.

Ainsi que le montrent les expériences de M. Schlœsing, une terre bien ameublie est capable de retenir une grande quantité d'eau et, par suite, de subvenir aux besoins des plantes pendant les périodes de sécheresse. Cette eau, qui va jusque dans le sous-sol, sert non seulement aux plantes à longues racines, mais aussi à celles qui ne descendent pas jusqu'au sous-sol, car elle peut remonter par capillarité jusqu'aux couches superficielles.

C'est précisément pour permettre à l'eau de remonter par capillarité que le cultivateur pratique le *roulage* des terres, lequel consiste à passer un rouleau très lourd sur le sol pour produire un tassement.

Expérience. — Mettons de la terre dans deux allonges en verre (fig. 30); tassons la terre assez fortement dans l'allonge n° 1, puis mettons les deux extrémités inférieures en contact avec l'eau. On voit que l'eau s'élève dans la terre tassée un peu plus vite que dans la terre meuble.

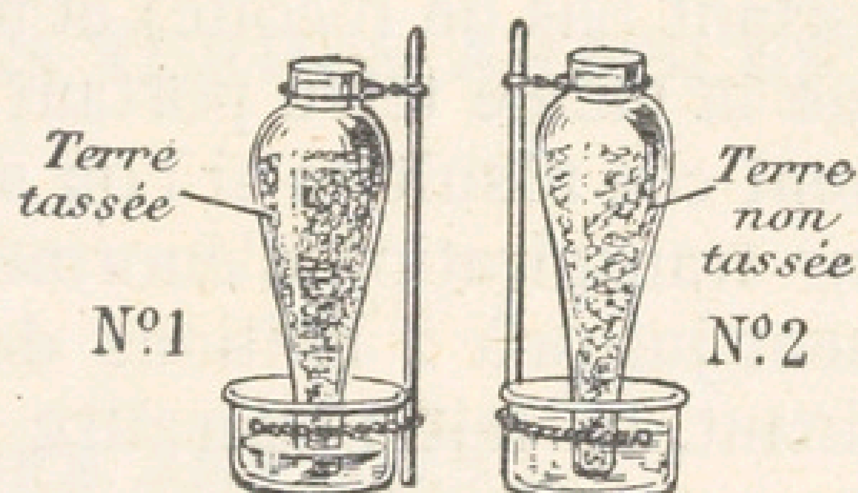


FIG. 30. — *L'eau s'élève dans la terre tassée un peu plus vite que dans la terre meuble.*

Le roulage se fait non seulement un peu avant les semailles, mais aussi après :

1° L'eau s'infiltrant moins bien dans une terre tassée que dans une terre meuble, l'eau de pluie reste dans les couches superficielles au moment des semailles et les graines ont plus de chances de germer que dans une terre meuble où l'eau s'infiltre plus aisément; 2° les jeunes radicelles, étant mieux en contact avec le sol, prennent plus facilement leur nourriture. Donc *labour* pour permettre au sol de s'aérer et d'emmagasiner de l'eau, puis *roulage* pour permettre au sol de garder cette eau et la faire remonter dans les couches superficielles à la disposition des plantes.

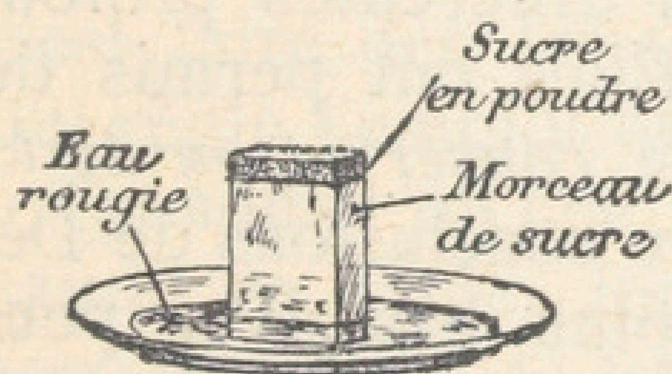


FIG. 31. — EXPÉRIENCE MONTRANT LES EFFETS DU BINAGE.

L'eau monte par capillarité dans le morceau de sucre jusqu'au sucre en poudre qui l'arrête.

C'est encore pour éviter la déperdition de l'humidité que le cultivateur pratique les *binages* lesquels consistent dans l'ameublissement des couches très superficielles du sol.

Expérience. — Mettons sur un gros morceau de sucre coupé en forme de cube un peu de sucre finement pilé, puis plaçons ce morceau de sucre dans de l'eau rougie avec une matière quelconque. L'eau monte par capillarité dans le morceau jusqu'au sucre en poudre qui l'arrête (fig. 31).

En réduisant, par le binage, la terre superficielle en particules plus ou moins fines, on rompt les interstices capillaires qui amènent l'eau à la surface, le sol garde mieux son humidité.

Il ne faut pas cependant attribuer à l'expérience précédente plus d'importance qu'il ne convient. En réalité, si le sol, lorsqu'il est biné, perd moins d'eau c'est bien moins parce que les

couches superficielles sont réduites en fines particules que parce que le *binage détruit les mauvaises herbes qui absorbent de l'eau du sol.*

Déhérain a, en effet, montré qu'une terre binée ne perd presque pas plus d'eau qu'une terre ne portant pas de plantes et non binée. Il a montré également que la terre en jachère (ne portant pas de récolte) et non binée perd beaucoup moins d'eau que la même terre portant des récoltes. On comprend parfaitement ces résultats si l'on se rappelle que les plantes évaporent par transpiration d'énormes quantités d'eau s'élevant annuellement jusqu'à 2 millions de kilogrammes d'eau à l'hectare. En binant, on fait disparaître les mauvaises herbes qui absorbent beaucoup d'eau au détriment des plantes cultivées; le sol garde mieux son humidité, il se dessèche moins vite. De là ce dicton :

« *Deux binages valent un arrosage.* »

Il est à remarquer que le *sarclage* (lequel a pour but de détruire les mauvaises herbes) produit le même résultat. Les binages et les sarclages au point de vue de la déperdition d'eau des sols, ont donc la même valeur.

Des expériences ont été faites par MM. Degrully et Ravaz, en 1902, 1903, 1904 en pleine culture (terres cultivées en vignes) sur des parcelles simplement raclées superficiellement (sortes de binages) et sur des parcelles labourées à différentes profondeurs (15 centimètres et 45 centimètres). Elles ont permis de constater que « le *rôle des labours dans la conservation de la fraîcheur du sol est nul*, conformément aux conclusions de Déhérain à propos des expériences citées plus haut. On peut même leur attribuer, dans certains cas, une action desséchante : c'est quand au lieu d'amener la terre à l'état de particules très fines ils la réduisent en *mottes*, ce qui est fréquent, on le sait. »

On peut dire que les labours ont pour but :

De détruire les mauvaises herbes qui dessèchent le sol en évaporant de l'eau, de faciliter l'emmagasinement des eaux de pluie, d'ameublir le sol sur une certaine épaisseur pour faciliter le développement des racines des plantes cultivées; d'exposer à l'air les parties inférieures de la couche arable pour leur faire subir l'action désagrégeante des agents extérieurs (gelées, pluies), enfin, comme nous le verrons, de faciliter la nitrification. Ils ont également pour but de faciliter le mélange du fumier et des autres engrais avec la terre.

CHAPITRE XI

CONSTITUTION CHIMIQUE DES TERRES ARABLES

I. — AZOTE DES TERRES ARABLES

48. Richesse des terres arables en azote. — Nous avons vu (p. 5) que les aliments nécessaires à la plante pour vivre et se développer sont principalement : l'*azote*, l'*acide phosphorique*, la *potasse*, la *chaux*, la magnésie. Nous allons rechercher dans les sols ces différents principes et déterminer la proportion dans laquelle ils s'y trouvent. Nous pourrons ensuite en déduire quels sont ceux que nous devons ajouter pour subvenir aux besoins des végétaux, par conséquent quels sont les *engrais* que nous devons apporter au sol. Mettre dans le sol un engrais pour fournir un principe qui y existe déjà en quantité suffisante, c'est faire des frais inutiles. C'est donc la composition du sol qui règle l'emploi de l'engrais.

On admet qu'une terre a une *richesse alimentaire satisfaisante*[1] en azote, lorsqu'elle contient 1 gramme d'azote pour 1000 grammes de terre.

Au point de vue de la richesse en azote, les agronomes classent les terres de la manière suivante :

Terres très pauvres : celles qui contiennent moins de $0^{gr},5$ pour 1000 grammes de terre.

Terres pauvres : celles qui contiennent de $0^{gr},5$ à 1 gramme pour 1000.

Terres de richesse moyenne[2] : celles qui contiennent 1 gramme pour 1000.

Terres riches : celles qui contiennent de 1 à 2 grammes pour 1000.

Terres très riches : celles qui contiennent au-dessus de 2 grammes pour 1000.

---

1. Nous entendons, comme M. Lagatu, par richesse satisfaisante celle qui permet la culture intensive d'emblée, sans amélioration foncière excellente.
2. On devrait dire plutôt satisfaisante.

Considérons une terre dont la profondeur de la couche arable soit de $0^{m},30$; le calcul indique que le volume de terre à l'hectare est de 3000 mètres cubes. Le poids moyen de 1 mètre cube de terre étant de 1200 kilogrammes, le poids total de 1 hectare de terre est $3000 \times 1200 = 3600000$ kilogrammes ou 3600 tonnes. Si l'on admet que le sol qui a fourni cette terre soit pauvre, c'est-à-dire contienne $0^{gr},5$ d'azote pour 1000, on peut en déduire qu'un hectare de terre, considérée comme pauvre en azote, contient :

$$3600 \times 0^{gr},5 = 1800 \text{ kilogrammes d'azote.}$$

D'autre part, une très bonne récolte de blé de 30 quintaux de grains et de 60 quintaux de paille renferme :

Dans le grain. . . .	60 kilogrammes d'azote.
Dans la paille. . . .	30 — —
Au total. . . .	90 kilogrammes d'azote et au plus 100 kilogrammes.

Comment se fait-il qu'une terre pauvre, qui contient cependant 1800 *kilogrammes d'azote, ne puisse pas produire une bonne récolte de blé qui ne demande que* 100 *kilogrammes d'azote?*

C'est que l'azote que renferment les terres n'est pas tout entier sous une forme immédiatement assimilable par les plantes; cet azote a besoin de subir des transformations, des métamorphoses. Ce sont ces transformations que nous allons étudier.

49. Les différentes formes de l'azote dans le sol[1]. — Les différentes formes sous lesquelles se présente l'azote dans le sol sont les suivantes :

L'*azote organique*: c'est l'azote qui entre dans la constitution des matières organiques azotées (humus, résidus végétaux et animaux de toutes sortes).

L'*azote ammoniacal*: c'est l'azote provenant de sels ammoniacaux formés soit dans l'air, et apportés par les eaux de pluie, soit dans le sol.

L'*azote nitrique* : c'est l'azote provenant de nitrates formés également dans l'air et surtout dans le sol.

50. Azote organique. — La plus grande partie de l'azote du sol (près des 98/100) se trouve à l'état de combinaisons orga-

1. Voir page 18, Origine et assimilation de l'azote.

niques contenant avec l'azote, du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène. Ces matières organiques forment la plus grande partie de cet élément brun qui existe dans tous les sols arables et dont nous avons déjà parlé : l'*humus*.

Nous avons vu (p. 56) que l'humus est le résultat de la décomposition des corps organisés, plus spécialement des végétaux, sous l'influence de l'oxygène, de l'humidité et, plus encore, sous celle de *microorganismes*.

Nous avons vu également que les plantes peuvent absorber directement l'azote organique (voir p. 21), mais que les agronomes ne sont pas d'accord sur la réalité de cette absorption dans les conditions auxquelles sont soumises les récoltes.

M. Grandeau attribue à la matière humique un autre rôle qui consiste à former avec les éléments minéraux nutritifs de véritables combinaisons que les plantes peuvent facilement assimiler. Les principes nutritifs, en effet, se présentent dans le sol fréquemment à l'état insoluble ; combinés à la matière humique, ils seraient alors plus aisément dissous par les sucs acides des racines et pénétreraient dans les plantes. Les phosphates, par exemple, qui pourraient résister à l'action directe des racines, se laisseraient dissoudre après leur passage dans la matière humique. Cette matière ferait donc subir à certaines substances nutritives insolubles « une sorte de digestion préalable qui faciliterait leur assimilation ».

Quoi qu'il en soit, ce qu'il importe de savoir au point de vue pratique, c'est que l'*azote organique peut, dans certaines conditions, se transformer en azote ammoniacal.*

On constate, en effet, que les débris végétaux humides abandonnés à l'air s'altèrent rapidement et que leurs matières azotées forment de l'ammoniaque. Les tas de betteraves que l'on recouvre de feuilles pour les préserver de la gelée, en attendant leur traitement à l'usine, laissent quelquefois dégager de l'ammoniaque que l'on reconnaît parfaitement à l'odeur.

A quoi est due cette transformation de l'azote organique en azote ammoniacal? Elle est due surtout à certains êtres microscopiques en présence de l'oxygène et de l'eau. Ainsi que l'ont montré MM. Müntz et Coudom, les espèces de microorganismes qui opèrent cette transformation ou *fermentation ammoniacale* sont nombreuses et très répandues[1] :

D'après M. Marchal, dans les terres cultivées bien pourvues de calcaire, ce sont des *bactéries*[2] demandant un sol aéré et une température suffisante, celle de l'été. Dans les terres riches en humus et dépourvues de calcaires (prairies et forêts de terrains granitiques), ce sont surtout des *moisissures*.

---

1. MM. Müntz et Coudom n'ont réussi à stériliser la terre, et par conséquent à empêcher la formation de l'azote ammoniacal, qu'en la chauffant à 120 degrés pendant une heure.

2. Les Bacillus mycoïdes, arborescens, mesentericus, liquefaciens, etc., etc.

51. Azote ammoniacal. — L'azote ammoniacal du sol (en dehors de celui qui est apporté par les engrais) provient de deux sources : de l'atmosphère et de l'azote organique du sol.

Nous avons vu en effet (p. 22 et 50) que l'ammoniaque de l'air concourt directement, pour *une petite part*, à l'alimentation des plantes. Une partie de l'ammoniaque de l'air est entraînée dans le sol par les eaux de pluie et vient s'ajouter à l'ammoniaque produit par la transformation de l'azote organique sous l'influence des microorganismes du sol.

L'ammoniaque issu de ces deux origines se combine en grande partie à l'acide carbonique que l'on trouve dans le sol, pour former du carbonate d'ammonium.

Une partie de l'azote ammoniacal formé peut être utilisé directement par les plantes ainsi que nous l'avons vu (p. 20); la plus grande partie, si les conditions sont favorables, *se transforme sous l'action de certains ferments nitriques en azote*, forme la plus parfaite pour l'alimentation azotée des plantes.

52. Azote nitrique. — L'azote nitrique existe dans les sols sous forme de nitrates (nitrates de calcium, de potassium, de sodium, etc.), aliments azotés des plantes par excellence.

Dans certaines contrées où se produisent de grandes sécheresses déterminant une évaporation rapide de l'eau du sol, le nitrate de potasse en dissolution remonte à la surface par capillarité et apparaît sur la surface des champs en efflorescences cristallines que l'on ramasse[1].

Dans nos pays tempérés où les grandes et longues sécheresses ne se font pas sentir, les eaux de pluies dissolvent une partie des nitrates et les entraînent dans les eaux de drainage où l'on peut constater facilement leur présence.

La formation des nitrates que l'on appelle ***nitrification,*** est un phénomène général, elle s'accomplit d'une manière permanente dans les terres. De sorte que l'on peut comparer la surface tout entière des continents comme une immense nitrière où prennent naissance des nitrates si utiles à l'alimentation azotée des plantes.

Comment se forment les nitrates dans le sol. — Les nitrates se forment dans le sol par une oxydation spéciale de l'ammoniaque ou des sels ammoniacaux effectuée dans un milieu convenable.

Pendant longtemps, on a cru que cette oxydation se produisait grâce à la porosité de la terre. Dans les laboratoires, en effet, on l'effectuait en faisant passer sur un corps poreux spécial, la mousse de platine, un courant de gaz ammoniac mélangé d'air. On sait maintenant (d'après les expériences de MM. Schlœsing

---

1. Le nitrate ou salpêtre, que l'on ramasse dans l'Inde (vallée du Gange), était employé autrefois surtout à la fabrication de la poudre.

et Müntz) qu'elle se produit sous *l'influence de microbes spéciaux, ferments infiniment petits.*

MM. Schlœsing et Müntz ont, en effet, montré que *la présence de ferments spéciaux est indispensable pour la production des nitrates :*

1° Une terre stérilisée par la calcination à 110 degrés, température qui tue tous les ferments vivants, ne transforme plus les sels ammoniacaux en nitrates, la nitrification ne se produit plus;

2° Une terre stérilisée qui ne nitrifie plus, nitrifie à nouveau si on la mélange à une terre non chauffée qui apporte les ferments;

3° On reconnaît que ce ferment est un être organisé à l'action curieuse qu'exerce sur lui le chloroforme, comme la plupart des anesthésiques : la nitrification s'arrête, elle reprend quand les vapeurs de chloroforme se sont dissipées.

Les ferments qui produisent la nitrification. — Nous savons qu'il y a deux ferments distincts qui interviennent dans la nitrification, grâce à Winogradsky qui est arrivé le premier à les isoler :

Le ferment nitreux (fig. 31, 1) (constitué par de petites cellules ovales) oxyde l'ammoniaque et le transforme en *acide nitreux*, et les sels ammoniacaux en *nitrites.*

Winogradsky a étudié diverses terres et en a isolé les ferments nitreux qu'il divise en deux groupes : les ferments nitreux non doués de mouvement (nitrosococcus, fig. 32, 1) et les ferments nitreux doués de mouvement (nitrosomonas, fig. 32, 2 et 3); ces derniers sont munis de cils vibratiles parfois très long, leur énergie fermentative est plus grande.

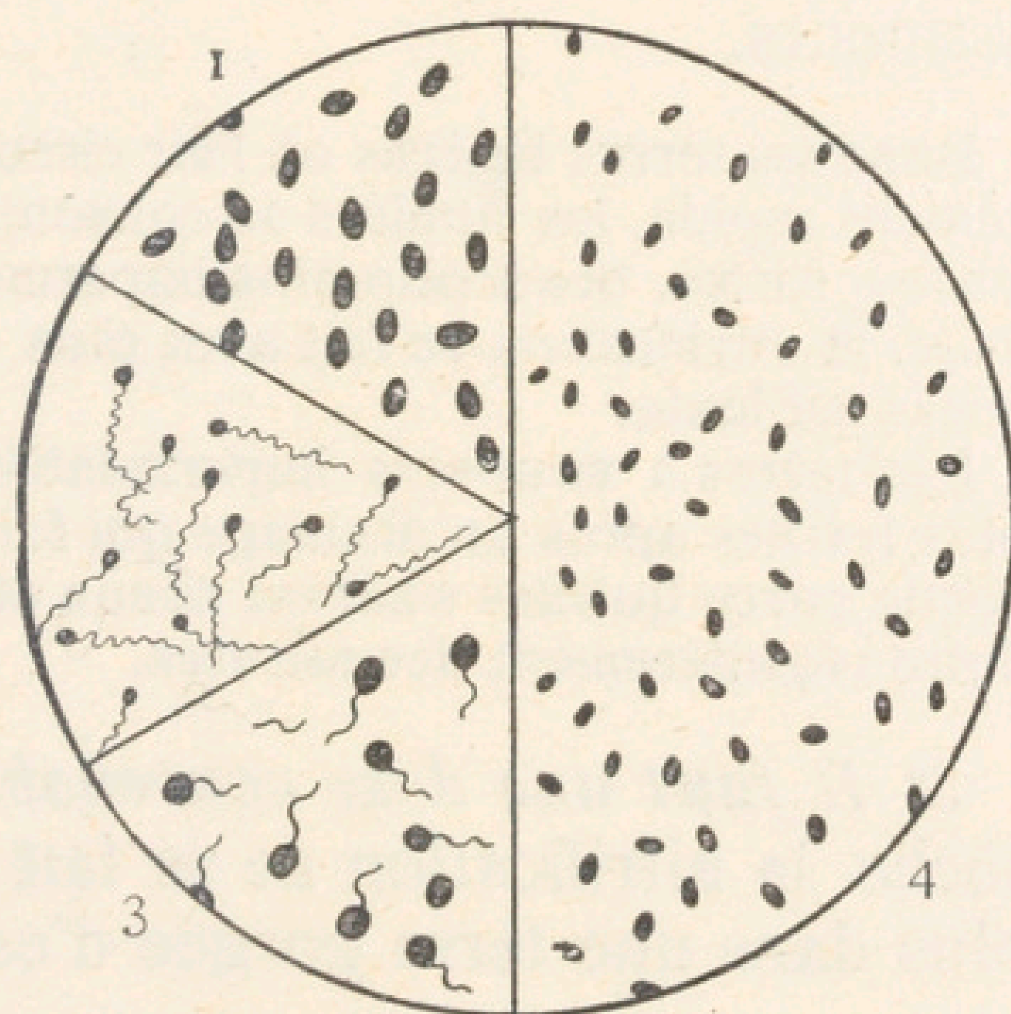


FIG. 32. — LES FERMENTS QUI PRODUISENT LA NITRIFICATION. (Vus au microscope).

1, *ferments nitreux non doués de mouvement.*

2 et 3, *ferments nitreux doués de mouvement* (2, de Zurich; 3, de Java).

4, *ferments nitriques.*

Le ferment nitrique (fig. 32, 4) (constitué par des cellules allongées en forme de bâtonnets) n'exerce aucune action sur les sels ammoniacaux, mais transforme l'acide nitreux en acide azotique ou nitrique et les sels ammoniacaux en nitrates.

C'est donc *l'association* de ces deux ferments qui produit le phénomène de la nitrification.

La transformation de la matière organique azotée, ou de l'azote organique de la terre arable en azote nitrique, exige donc l'intervention de trois microorganismes différents :

1° Des ferments *ammoniacaux*, agissant sur la matière organique azotée pour en dégager de l'ammoniaque;

2° Un ferment *nitreux* transformant l'ammoniaque en acide nitreux, et les sels ammoniacaux en *nitrite*.

3° Un ferment *nitrique* complétant l'action oxydante du précédent et transformant les nitrites en nitrates.

Conditions de la nitrification. — Pour que la nitrification ait lieu dans un sol, diverses conditions doivent être réalisées :

1° *Il faut que la terre contienne des ferments nitreux et nitriques.* — Cette condition est toujours remplie; tous les sols contiennent ces ferments en plus ou moins grande quantité. Le nombre des microorganismes diminue avec la profondeur à laquelle est prise la terre que l'on examine;

2° *L'air doit circuler aisément à travers le sol*, afin de fournir l'oxygène nécessaire à l'oxydation des sels ammoniacaux par les ferments.

Dans les terres légères où l'air circule facilement, la nitrification est relativement rapide, les fumiers se consomment rapidement. Dans les terres argileuses, fortes, beaucoup plus imperméables, la circulation d'air est plus difficile, la nitrification se fait avec plus de lenteur, la transformation des fumiers est lente.

Les terres à sous-sols imperméables, non drainées, deviennent beaucoup plus fertiles après un drainage qui fait disparaître l'excès d'eau, en grande partie parce qu'elles s'aèrent mieux et qu'elles deviennent capables de produire régulièrement des nitrates.

3° *Il faut une dose convenable d'humidité.* — Dans une terre sèche la nitrification ne se fait pas, elle ne se produit pas non plus dans une terre gorgée d'eau où l'air ne peut plus circuler.

La nitrification s'établit dès que la terre renferme 5 pour 100 d'eau, elle se fait très bien quand le sol renferme 10 à 15 pour 100 d'eau.

4° *La température doit être comprise entre certaines limites.* — La nitrification est à peu près nulle au-dessous de 5 degrés; elle ne devient appréciable qu'à 12 degrés et croît jusqu'à 37 degrés pour décroître ensuite et devenir nulle à 55 degrés; à 100 degrés les ferments nitreux et nitriques sont tués;

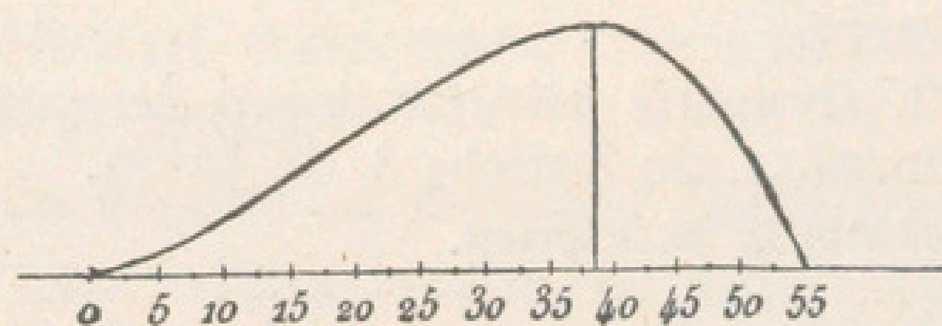


Fig. 33. — Courbe indiquant la nitrification aux diverses températures.

La température minima est 5°. La température la meilleure (optima) est 37°. La température maxima est 55°.

5° *Présence d'une base.* — La nitrification ne se produit pas dans un milieu acide. Dans les terres, il faut une base capable de se combiner à l'acide nitrique à mesure qu'il se forme.

Les terres exemptes de calcaire (carbonate de calcium), comme les terres granitiques (Bretagne), terres de landes, de bruyères, terres tourbeuses, que l'on appelle encore terres acides, sont très riches en matières organiques; les débris de la végétation s'y accumulent parce que la nitrification s'y fait mal; ces terres ne donnent que de maigres récoltes. Il suffit de pratiquer sur ces terres un *chaulage*, c'est-à-dire de leur fournir une base, *la chaux*, pour que la nitrification se fasse régulièrement et qu'il y ait production de nitrates; ces terres peuvent alors donner d'excellentes récoltes (voir chaulage, p. 192).

Si une légère réaction alcaline est nécessaire à une bonne nitrification, un excès de base est cependant nuisible : un chaulage énergique appliqué à une terre peut suspendre la nitrification pendant un certain temps, jusqu'à ce que la chaux ait été carbonatée par l'action du gaz carbonique de l'air et du sol; mais le résultat final est favorable si la terre à l'origine manquait de chaux.

L'urine, le purin riches en matière azotée ne sont nitrifiés que s'ils sont étendus d'eau.

Ainsi que le fait remarquer M. Déhérain, quand des bêtes à cornes ou des moutons séjournent sur des champs par des temps secs, l'urine qu'ils émettent fournit rapidement de l'ammoniaque par la transformation de l'urée; cet ammoniaque a de grandes chances d'être perdu, au moins partiellement, sa dissolution étant trop concentrée pour être nitrifiée.

6° *Présence d'une matière azotée nitrifiable.* — Les terres doivent évidemment contenir les éléments nécessaires à la production des nitrates, c'est-à-dire une matière azotée.

Si l'azote organique met plus longtemps à nitrifier (c'est-à-dire à se transformer en azote nitrique) que l'azote ammoniacal, c'est qu'il a besoin de se transformer d'abord en azote ammoniacal.

Jusqu'à ces dernières années, on avait admis que la matière organique est indispensable à la nitrification. C'est qu'en effet, dans la nature, cette nitrification s'opère toujours en présence de l'*humus* provenant de la décomposition des résidus de la vie animale et végétale; aussi dans les anciennes *nitrières* incorporait-on de grandes quantités de ces matériaux. Plus récemment, Winogradsky a montré que ces microbes *nitrificateurs* peuvent se développer en transformant l'ammoniaque en nitrates, en l'*absence de matières organiques*, il concluait même que dans la nitrification de l'ammoniaque les substances organiques (l'humus) entravent la marche du phénomène. De cette constatation est née l'opinion générale que leur présence est plus nuisible qu'utile. MM. Müntz et Lainé ont démontré dernièrement [1] :

1° Que sous la forme d'humus, la matière organique, quelle que soit son abondance n'entrave pas la nitrification, elle lui est plutôt favorable;

---

1. Communication à l'Académie des sciences (5 juin 1906).

2° Que cette abondance n'est cependant pas une condition indispensable, puisque des terres pauvres peuvent être graduellement amenées à une nitrification intérieure;

3° Que la matière humique paraît agir favorablement sur la multiplication des organismes, et que d'une manière générale, une terre est d'autant plus chargée de microorganismes actifs, et plus apte à entrer en nitrification rapide, qu'elle contient plus d'humus.

Dans l'établissement des nitrières intensives, ainsi que nous allons le voir, il ne faut donc pas craindre d'employer des matériaux riches en humus qui apportent une semence vivace et abondante, et qui constituent un apport favorable.

L'idée d'une action déprimante des matières organiques sur la marche de la nitrification doit donc être abandonnée lorsqu'on est placé, comme dans les conditions naturelles, en présence de l'humus et des ferments multiples des milieux terreux.

7° *La trituration du sol*, l'ameublissement du sol, favorise la nitrification. M. Schlœsing attribue cette influence à une nouvelle répartition des ferments nitreux et nitriques; M. Déhérain pense surtout qu'elle est due à une distribution régulière, dans la terre remuée, de l'air et de l'eau.

Durée de la nitrification. — La durée de la nitrification varie suivant l'état de la matière organique contenue dans le sol et suivant que les conditions de la nitrification sont plus ou moins favorables. La transformation de l'azote organique en azote ammoniacal est relativement lente, celle de l'azote ammoniacal en azote nitrique est rapide.

M. Schlœsing a constaté qu'en une *quinzaine de jours*, tout l'azote de l'ammoniaque introduit dans une terre humide avait été transformé.

Les nitrières artificielles. — Les composts. — La nitrification dans les terres arables se fait d'une manière lente et presque continue. Les résidus organiques (végétaux et animaux) se transforment peu à peu d'abord en azote ammoniacal, puis en nitrates; de sorte que la surface des continents peut être envisagée comme une immense nitrière.

Connaissant les *conditions d'une bonne nitrification*, l'agriculteur peut réaliser des *nitrières artificielles* donnant des nitrates plus rapidement et en plus grande quantité que ne peut le faire le sol.

Les nitrières artificielles de cultivateur sont ce que l'on appelle les *composts* : mélanges très variés de toutes sortes de résidus d'origine animale et végétale, qui se produisent dans toute exploitation agricole, avec de la terre des matériaux calcaires et un peu d'eau. La terre (terre des étables, des fossés, le terreau) sert de support aux microbes, les débris organiques servent de matières azotée nitrifiable, la chaux, les plâtras, la marne qu'on y ajoute rendent le milieu suffisamment alcalin

pour faciliter la nitrification; on arrose les tas pour avoir une humidité suffisante. Les tas doivent être assez considérables (1m,50 à 2 mètres de hauteur) pour que l'humidité s'y conserve mieux et la fermentation soit plus active.

Au bout de quelques mois, le compost est recoupé à la bêche pour être reformé à côté en mélangeant bien toutes ses parties, on produit ainsi une aération profonde qui favorise le développement des microbes et par conséquent la transformation des matières organiques en humus et celle de leur azote en nitrate.

Il faut autant que possible dans la formation des composts utiliser, ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut, des matériaux riches en humus qui apportent beaucoup de microbes et qui constituent pour eux un support très favorable. C'est bien pour cette raison que dans certains départements de l'Ouest on ajoute du *fumier* aux composts; ces derniers prennent alors le nom de *tombes*.

Composts et tombes ne contiennent évidemment, comme éléments fertilisants, que ceux apportés par les différents matériaux qui les composent, mais sous une forme beaucoup plus assimilable pour les plantes. Ils contiennent, en plus, de l'azote organique plus ou moins transformé en azote ammoniacal et en azote nitrique, ainsi que de l'azote pris directement à l'air par certains microbes qui ont, comme nous le verrons, la propriété de fixer l'azote libre (voir la préparation pratique des composts (p. 131).

Nitrification intensive. — Les travaux de MM. Müntz et Lainé, dont nous avons parlé déjà, ont montré que la nitrification n'était pas un phénomène d'une grande lenteur comme on le pensait. Après avoir établi que les terres riches en matière organique sont particulièrement aptes à la production intensive des nitrates, ces deux expérimentateurs ont réussit (en se servant de la tourbe comme support pour les microbes et d'ammoniac, sous forme d'eaux ammoniacales comme matière nitrifiante) à obtenir une nitrification extrêmement rapide, pouvant se comparer à la fermentation alcoolique tumultueuse. D'après Boussingault, les nitrières artificielles donnaient en deux ans 5 kilogrammes de salpêtre brut par mètre cube; l'activité nitrifiante obtenue avec la tourbe est plus de mille fois supérieure à celle des anciennes nitrières. Peut-être pourra-t-on, comme l'espèrent MM. Müntz et Lainé, obtenir facilement avec de la tourbe, très riche en azote organique, de l'azote ammoniacal que l'on soumettra ensuite à une nitrification rapide pour obtenir de grandes quantités de nitrates si utiles à la végétation. Les tourbières, de peu de valeur, deviendraient ainsi de véritables usines d'azote nitrique pouvant concurrencer les usines de nitrate de soude du Chili.

Réduction des nitrates dans la terre arable. — La terre renferme des *bactéries dénitrifiantes*, c'est-à-dire décomposant les nitrates, les réduisant et prenant leur oxygène. La réduction des nitrates se fait à l'air libre, mais surtout à l'abri de l'air. Les mauvais effets obtenus quelquefois par le fumier provient surtout des doses excessives enfouies, rendant le sol peu aéré

et favorisant le développement des bactéries dénitrifiantes. Les terres gorgées d'eau, tassées, favorisent également la dénitrification.

Importance de la nitrification dans les terres cultivées. — Quand les conditions d'une bonne nitrification sont remplies, la production des nitrates y est très active. M. Déhérain, à la suite d'expériences ayant duré plusieurs étés, a trouvé que dans certains sols de Grignon, il se forme en moyenne 40 kilogrammes d'azote nitrique par hectare. MM. Lawes et Gilbert estiment la formation de l'azote nitrique à Rothamsted à 50 kilogrammes par hectare et par an.

Malheureusement, les *nitrates formés ne sont pas retenus par le sol.* Les nitrates étant solubles dans l'eau, si les plantes ne les utilisent pas au moment de leur formation, les eaux de pluies les entraînent dans le sous-sol et ils peuvent se perdre dans les eaux de drainage.

Pendant l'hiver, la température n'étant généralement pas favorable, la nitrification ne se fait pas ou très peu, les pertes sont très peu importantes.

Au printemps, la nitrification se fait mieux, les plantes qui se développent utilisent les nitrates au fur et à mesure de leur formation.

En été, où la nitrification se fait bien, les nitrates, une fois les céréales coupées, sont sans emploi et les pluies abondantes de l'automne les emportent en pure perte. De là l'importance des *cultures dérobées*[1] pour utiliser ces nitrates.

Les plantes semées en culture dérobée peuvent être destinées à être enfouies comme engrais ou à être utilisées dans l'alimentation du bétail.

53. Pertes d'azote des terres arables. — Les causes des pertes d'azote sont nombreuses :

1° Les récoltes enlèvent annuellement de 30 à 200 kilogrammes d'azote par hectare (une bonne récolte de blé de 80 à 100 kilogrammes ; pour les autres céréales de 70 à 80 kilogrammes ; pour les cultures fourragères, luzerne par exemple, 200 kilogrammes) ;

2° La quantité d'azote (sous formes de nitrates) emportée par les eaux de drainage peut s'élever en moyenne jusqu'à 17 et 20 kilogrammes[2] ;

3° Certains microbes qui détruisent les résidus végétaux brûlent trop complètement la matière organique en dégageant

1. Les *cultures dérobées* ou *cultures intercalaires* sont celles que l'on fait dans le court laps de temps qui sépare deux récoltes principales : après seigle ou blé par exemple, cultures de navets, vesces, sarrasin, etc.

2. Dans les expériences de Rothamsted, on constate qu'une année la déperdition d'azote nitrique a été de 45 kilogrammes par hectare.

de l'azote qui retourne à l'atmosphère. Cette perte atteint environ 1/10 de l'azote total de la matière organique décomposée ;

4° Une petite quantité d'azote sous forme d'ammoniaque, provenant de la transformation de l'azote organique par le ferment ammoniacal, peut se dégager dans l'air lorsque la nitrification est lente.

Il est assez difficile d'évaluer les pertes dues à ces trois dernières causes. Dans tous les cas, on peut évaluer la perte totale d'azote par hectare et par an à environ 100 kilogrammes.

54. Gains d'azote des terres arables. — Comment les terres arables arrivent-elles à compenser les pertes d'azote que nous venons d'indiquer ?

Quand on détermine, comme l'a fait Boussingault, la quantité d'azote apportée par les engrais à une terre soumise à un assolement régulier et fumée au fumier de ferme à dose moyenne, puis l'azote enlevé par les récoltes, on trouve toujours plus d'azote dans les récoltes qu'il n'en a été fourni par les fumures.

Il faut donc que l'azote atmosphérique intervienne et enrichisse les sols ; c'est en effet ce que nous allons démontrer :

1° ***La terre peut s'enrichir directement par l'azote combiné de l'atmosphère*** (*ammoniaque et acide nitrique*).

Ainsi que nous l'avons vu (p. 49) pendant les orages, grâce aux éclairs, véritables étincelles électriques, l'oxygène se combine à l'azote de l'air pour former de l'acide azotique ou nitrique. Cet acide se combine en majeure partie à l'ammoniaque de l'air pour donner du nitrate d'ammoniaque que les eaux de pluie entraînent jusque dans le sol.

Nous avons vu également (page 50) qu'il existe dans l'air de petites quantités d'ammoniaque que les eaux de pluie peuvent aussi entraîner.

Mais la quantité d'azote atmosphérique que reçoit la terre sous forme d'ammoniaque ou d'acide nitrique est relativement faible.

2° ***Les légumineuses fixent l'azote de l'air.*** — Nous avons vu (p. 24) que les légumineuses, grâce aux bactéries qui vivent dans les nodosités de leurs racines, fixent l'azote de l'air par les racines et les détritus qu'elles laissent dans le sol, elles enrichissent les terres arables en azote organique. Le stock d'azote laissé au sol par un hectare de luzerne, par exemple, peut atteindre 350 kilogrammes (voir p. 25), ce qui justifie le nom de plantes améliorantes donné aux légumineuses ;

3° ***Les terres fixent l'azote de l'air par l'intermédiaire de microbes*** sans le secours d'aucune plante, ainsi que l'a démontré M. Berthelot.

Ces microbes fixent eux-mêmes l'azote de l'air; après leur mort, leur matière organique azotée enrichit le sol.

Cette fixation ne se produit qu'entre 10 degrés et 40 degrés, c'est-à-dire aux températures de l'été. Il faut de plus que le sol soit suffisamment *aéré* et dans un état convenable d'humidité.

Les terres pauvres en argile et en humus, comme le sont souvent les terres sablonneuses ou calcaires, fixent peu l'azote atmosphérique. C'est qu'en effet les microbes fixateurs d'azote ont besoin pour se développer de *matière organique carbonée* comme peut en fournir l'humus. On comprend dès lors pourquoi les cultivateurs enfouissent dans leurs terres du fumier de ferme, origine de l'humus : cette addition régulière est nécessaire à la vie des bactéries fixatrices d'azote et par suite au maintien de la fertilité.

Un bactériologiste russe, M. Winogradsky a réussi à isoler une bactérie fixatrice d'azote vivant dans les terres arables (le *Clostridium Pasteurianum*). Cette bactérie ne vit qu'à l'abri de l'air et dans une atmosphère d'azote. Comment peut-elle vivre dans l'air puisqu'il lui faut de l'azote et pas d'oxygène? Les expériences de M. Winogradsky démontrent que cette bactérie vit très bien dans un milieu aéré quand on lui associe des microbes aérobies (c'est-à-dire vivant au contact de l'air) qui prennent l'oxygène. La présence de ces microbes aérobies et de quelques muscedinées absorbant aussi l'oxygène, est une condition qui se trouve très habituellement réalisée dans le sol, et permet de comprendre la multiplication de microbes anaérobies (vivant à l'abri de l'air) dans un milieu aéré comme l'est la terre arable.

Beijerinck, savant hollandais, nous a fait connaître deux autres bactéries fixatrices d'azote (*l'Azotobacter chroococcum et l'Azotobacter agilis*), jouissant des mêmes propriétés que celles de la bactérie trouvée par Winogradsky. Ces microbes sont très répandus dans les sols cultivés.

4° ***Les terres envahies par une végétation cryptogamique*** (algues, etc.) ***fixent l'azote de l'air.*** — MM. Schlœsing fils et Laurent, ainsi que nous l'avons vu (p. 25), ont démontré, en effet, que les algues, les mousses fixent l'azote atmosphérique; mais M. Kossovitch a établi que *cette fixation n'a lieu que par l'association des algues et des bactéries :* les algues pourvues de chlorophylle créent de la matière organique et peuvent nourrir les bactéries fixatrices d'azote.

55. Introduction dans le sol de ferments fixateurs d'azote. — L'alinite. — Certaines bactéries fixant l'azote de l'air, il est tout naturel que l'on ait cherché à les utiliser pour enrichir le sol en azote et par conséquent augmenter le rendement des récoltes. C'est ce qu'ont essayé des agronomes allemands :

MM. Caron et Stoklasa isolèrent un bacille provenant de différents sols en exploitation; ils le multiplièrent et finalement en firent un produit vendu dans le commerce sous le nom d'*alinite.*

L'alinite est contenue dans de petits tubes en verre; elle se présente sous la forme d'une poudre jaunâtre constituée par

les bacilles eux-mêmes en nombre incalculable, 8 grammes de cette poudre suffisent pour un hectare[1].

Ces bacilles, comme la plupart des microorganismes du sol, ont besoin pour leur développement d'une quantité assez importante d'hydrates de carbone tels que glucose, cellulose, fécule, etc. Aussi ajoute-t-on à l'alinite une solution de glucose.

8 grammes d'alinite[2] sont mis dans un vase contenant 6 litres d'eau. Au bout de deux heures on ajoute 3 kilogrammes de glucose et, après avoir agité, on arrose la semence avec cette solution en remuant à la pelle, de façon que chaque grain soit mis en contact avec le liquide.

D'après M. Stoklasa, les bacilles qui constituent l'alinite : 1° assimile l'azote de l'air, enrichissant ainsi le sol de cet élément si utile aux plantes; 2° transforment et rendent solubles les substances organiques azotées inutilisables pour la végétation sous leur état insoluble.

L'alinite a été essayée en France et l'on a reconnu qu'elle n'exerce aucun effet bien sensible sur les céréales.

Comme on le voit, l'alinite n'a pas réussi en agriculture, alors que la *nitragine* (p. 26) (ou cultures microbiennes similaires) commence à donner de bons résultats.

56. Bilan de l'azote des terres. — Nous venons d'étudier les *pertes* et les *gains* d'azote des terres arables; quel est le compte ou bilan de ces pertes et de ces gains, quel est le résultat de la différence?

Dans un sol abandonné à la végétation spontanée les plantes développées meurent sur place et enrichissent la terre de leurs débris : la perte d'azote est minime, elle est surpassée généralement par le gain résultant de ces débris; et le sol s'enrichit.

Dans les terres à forêts, l'enrichissement du sol a également lieu, bien qu'on ne répande jamais d'engrais et que l'on enlève une certaine quantité d'azote par suite de l'exploitation des bois. La présence de légumineuses spontanées, d'algues, de mousses, explique ce résultat dans une certaine mesure. D'après Henry, cet enrichissement en azote serait dû surtout à la fixation de l'azote de l'air sur les feuilles mortes qui recouvrent le sol, grâce sans doute à des bactéries spéciales.

Pour une forêt qui reçoit à l'automne 3300 kilogrammes de feuilles mortes par hectare, le gain serait encore de 22 kilogrammes d'azote pour le charme 13 kilogrammes pour le chêne.

Dans les *prairies permanentes* de montagnes le sol s'enrichit en azote, malgré les exportations fourragères.

Dans les *cultures régulières* plus ou moins intensives, les

---

1. Le prix est de 4 francs le tube de 2 grammes, soit 16 francs par hectare
2. Dose pour 1 hectare.

récoltes emportent chaque année une forte dose d'azote (céréales, racines, tubercules, etc., excepté les légumineuses qui fixent de l'azote); la quantité d'azote enlevée par la récolte, par les eaux de drainage, etc., surpasse le plus souvent la quantité d'azote fournie par les microbes, le sol s'appauvrit. Il est nécessaire de faire intervenir les engrais.

II. — ACIDE PHOSPHORIQUE DES TERRES ARABLES

57. Richesse des terres arables en acide phosphorique. — On admet qu'une terre a une richesse alimentaire satisfaisante en acide phosphorique lorsqu'elle contient 1 gramme d'acide phosphorique pour 1000 grammes de terre.

Au point de vue de la richesse en acide phosphorique, les agronomes classent les terres de la manière suivante :

Terres *très pauvres* : celles qui contiennent moins de $0^{gr},5$ pour 1000 grammes de terre.

Terres *pauvres* : celles qui contiennent de $0^{gr},5$ à 1 gramme pour 1000.

Terres de *richesse moyenne* : celles qui contiennent 1 gramme pour 1000.

Terres *riches* : celles qui contiennent de 1 gramme à 2 grammes pour 1000.

Considérons, comme nous l'avons fait pour l'azote, une terre dont la profondeur de la couche arable soit de $0^{m},30$, le poids total d'un hectare de terre est 3600 tonnes (voir le calcul p. 68). Si l'on admet que le sol qui a fourni cette terre soit pauvre, c'est-à-dire contienne $0^{gr},5$ d'acide phosphorique pour 1000, on peut en déduire qu'un hectare de terre contient : $3600 \times 0^{gr},5 =$ 1800 kilogrammes d'acide phosphorique.

D'autre part, une bonne récolte de blé de 30 quintaux renferme :

Dans le grain	63	kgr. d'acide	phophorique.
Dans la paille (600 kg.)	29	— —	—
Au total	92	— —	—

Une bonne récolte de betteraves à sucre (40 tonnes) renferme en tout (racines et feuilles) environ 100 kilogrammes d'acide phosphorique. Comme pour l'azote, nous pouvons nous poser la question suivante :

Comment se fait-il qu'une terre pauvre qui contient cependant 1800 *kilogrammes d'acide phosphorique ne puisse pas produire une bonne récolte qui ne demande au plus que* 100 *kilogrammes d'acide phosphorique?*

C'est que l'acide phosphorique que renferment les terres n'est pas tout entier sous une forme assimilable par les plantes.

58. Formes de l'acide phosphorique dans le sol. — Dans les sols, l'acide phosphorique[1] existe sous forme de phosphates : le *phosphate tribasique de chaux*, le phosphate d'alumine et le phosphate de fer.

La plupart des phosphates sont insolubles dans l'eau ; cependant on trouve dans l'eau, circulant à travers la terre arable, de très petites quantités d'acide phosphorique[2] que les plantes peuvent utiliser. Ces quantités très petites d'acide phosphorique sont dues à l'action dissolvante *très faible* de l'eau sur les phosphates que l'on croyait *absolument* insolubles.

M. Schlœsing fils a extrait d'une terre, par l'eau, $1^{mmg},02$ d'acide phosphorique par litre. Cette quantité reste constante quelle que soit la proportion d'eau que renferme la terre ; il s'établit une sorte d'équilibre entre les actions chimiques très complexes qui tendent les unes à insolubiliser, les autres à faire passer en dissolution cet acide, de sorte que, si les racines s'emparent de l'acide dissous, une nouvelle proportion d'acide phosphorique vient remplacer celle qui a été consommée, et les plantes trouvant toujours de l'acide phosphorique dissous, en bénéficient, bien qu'il ne soit offert que très dilué dans l'eau. Ainsi qu'il résulte des expériences de M. Schlœsing, *les racines des plantes sont capables d'utiliser* (sous forme de phosphates) *ces très faibles doses d'acide phosphorique que l'eau emprunte au sol.*

On a cru pendant longtemps que *l'eau chargée d'acide carbonique était le dissolvant ordinaire du phosphate de chaux dans les sols.* M. Schlœsing a démontré que l'acide carbonique libre existant dans les eaux du sol n'ajoute rien à la proportion d'acide phosphorique dissous.

Lorsque la terre végétale contient de l'humus, l'acide phosphorique ainsi que les bases auxquelles il est associé, entrent en combinaison avec les matières humiques et forment divers composés que les plantes peuvent assimiler, comme l'a démontré M. Grandeau. Les terres des landes de bruyères, de vieilles prairies tourbeuses qu'on appelle encore *terres acides*, rendent assimilables les phosphates.

D'ailleurs, nous avons vu (p. 38) que les racines des plantes absorbent non seulement les matières minérales nutritives *solubles*, mais aussi qu'elles peuvent solubiliser et absorber les

---

1. On devrait dire plus exactement le phosphore.
2. D'après les expériences de Schlœsing.

matières *insolubles* telles que les phosphates, grâce à l'acide qu'elles renferment. Cette solubilisation par les racines et cette absorption ne sont évidemment possibles que si la matière insoluble est en contact direct avec les racines elles-mêmes, ainsi que nous l'avons fait remarquer. Cet acide phosphorique, tiré du sol par les racines, vient s'ajouter à celui que prend l'eau, en quantités extrêmement faibles, aux phosphates insolubles (voir p. 39).

De tout l'acide phosphorique que renferme une terre arable, quelle est la partie assimilable?

Nous n'avons aucun procédé exact pour mesurer l'état d'assimilabilité des phosphates contenus dans un sol.

Pour extraire l'acide phosphorique total d'une terre afin de déterminer la richesse de cette terre, les chimistes se servent de l'acide azotique ou nitrique pur et chaud[1]. Mais cet acide azotique ne joue pas le même rôle que l'acide humique et que l'acide renfermé dans les racines des plantes.

Pour 1 kilogramme de terre fine et sèche les doses d'acide phosphorique obtenues varient suivant l'acidité de l'acide employé; ainsi, d'après une expérience comparative, on obtient

Avec l'acide chlorhydrique très étendu	$0^{gr},31$
Avec l'acide chlorhydrique étendu *chaud*	$0^{gr},93$
Avec l'acide azotique pur et bouillant	$1^{gr},41$

Quoiqu'il en soit, les expériences de différents agronomes, notamment celles de Déhérain, montrent que l'acide phosphorique (des phosphates) soluble dans l'acide acétique[2] est approximativement assimilable par les plantes.

On peut donc dire que l'*acide phosphorique combiné du sol s'y trouve sous deux états différents : une fraction est soluble dans l'acide acétique et paraît assimilable, l'autre fraction, la plus importante comme quantité, n'est soluble que dans les acides minéraux concentrés et n'est pas assimilable. Des doses* extrêmement faibles *de cette dernière fraction sont cependant solubles dans l'eau et peuvent contribuer à l'alimentation des plantes.*

Au lieu de doser l'acide phosphorique assimilable par l'acide acétique, on emploie quelquefois le citrate d'ammoniaque, réactif souvent utilisé par les chimistes pour doser l'acide phosphorique rétrogradé, dit assimilable, dans

---

1. L'acide nitrique agissant à l'ébullition pendant une heure ou à froid pendant vingt-quatre heures.
2. On chauffe la terre additionnée d'acide azotique sur un bain de sable pendant cinq heures.

les superphosphates. En général, la proportion d'acide phosphorique dissous par l'acide acétique est plus forte que celle qui est solubilisée par le citrate d'ammoniaque.

Des analyses effectuées par MM. Déhérain et Kayser, il résulte que, dans beaucoup de terres, la quantité de phosphate soluble dans l'acide acétique varie du tiers au quart du phosphate total.

59. Relation entre l'origine géologique des terrains et leur teneur en acide phosphorique. — Il existe une certaine relation entre l'origine géologique des terrains et leur teneur en acide phosphorique. Sans être étroite, cette relation donne cependant des indications générales qui peuvent être utiles.

Les terres d'origine granitique contiennent généralement peu d'acide phosphorique, assez souvent moins de 0gr5 pour 1000 grammes de terre. Les terres calcaires, les terres d'alluvions ont d'ordinaire 0gr5 à 1 gramme pour 1000 d'acide phosphorique.

Les terres volcaniques ou formées par des alluvions d'origine volcanique renferment généralement de fortes doses d'acide phosphorique, assez souvent plus de 2 grammes pour 1000.

III. — POTASSE DES TERRES ARABLES

60. Richesse des terres arables en potasse. — Les agronomes ont admis, pendant un certain temps, qu'une terre a une richesse alimentaire satisfaisante en potasse, lorsqu'elle contient 1 gramme de potasse pour 1000 grammes de terre.

On a reconnu ensuite que cette dose est insuffisante; on admet actuellement comme richesse satisfaisante 2 grammes pour 1000.

Nous pouvons, comme pour l'azote et l'acide phosphorique, faire le calcul de ce que contient un hectare de terre de 0m30 de profondeur, considérée comme pauvre; la quantité trouvée est d'environ 2500 kilogrammes.

Il est bon de remarquer que cette quantité est loin de représenter la potasse totale contenue dans le sol. Les chimistes, pour extraire la potasse des terres, emploient l'acide azotique concentré et chaud; c'est ainsi que l'on trouve les 2500 kilogrammes dont nous venons de parler. Mais lorsqu'on attaque la terre par le fluorhydrate d'ammoniaque, puis ensuite par les acides sulfurique et chlorhydrique, comme l'ont fait MM. Berthelot et André, on trouve des doses de potasse beaucoup plus élevées, jusqu'à 8gr,9 par 1000, soit pour un hectare de terre 32 000 kilogrammes de potasse environ.

D'autre part, une forte récolte de blé de 40 hectolitres à l'hectare renferme :

Dans le grain	......	17kg,6 de potasse.
— la paille	......	36kg —
Au total	....	53kg,6 de potasse.

Une récolte de céréales enlève de 25 à 50 kilogrammes de potasse, une récolte de légumineuses de 20 à 73 kilogrammes.

Comme pour l'azote et l'acide phosphorique, on peut donc se poser la question suivante :

Comment se fait-il qu'une terre pauvre qui contient cependant un stock considérable de potasse, ne puisse pas produire une bonne récolte?

C'est que la potasse que renferment les terres est loin, comme l'acide phosphorique, d'être tout entière sous une forme assimilable.

61. Formes de la potasse du sol. — La potasse existe dans les sols sous des formes bien différentes :

1° Elle peut être engagée en combinaison avec des acides formant de très petites quantités de sels peu retenus par les propriétés absorbantes de la terre. Exemple : le sulfate et le chlorure de potassium.

2° Elle peut faire partie de silicates insolubles déjà altérés, ayant perdu la plus grande partie de leur silice, et qui sont contenus dans les argiles.

3° Elle peut être unie à l'acide carbonique que charrient les eaux souterraines, sous forme de carbonate de potasse soluble, dont la plus grande partie est retenue par les propriétés absorbantes des terres.

De toute la potasse que renferme une terre arable, quelle est la partie assimilable?

Pour la potasse, pas plus que pour l'acide phosphorique, nous n'avons de procédé exact permettant de mesurer l'état d'assimilabilité de la potasse.

La potasse des terres soluble dans l'eau est évidemment assimilable. On peut extraire toute cette potasse soluble en lavant la terre avec une grande quantité d'eau, on en trouve jusqu'à 800 kilogrammes par hectare, quantités bien supérieures à celles que consomment des récoltes.

Malheureusement, la plus grande partie de cette potasse soluble est retenue par le sol (voir propriétés absorbantes du sol, p. 93), des quantités *très minimes* sont seules charriées

par les eaux du sol. Nous savons, d'après les travaux de M. Schlœsing fils (voir p. 39) que *les racines des plantes sont capables d'utiliser ces très faibles doses de potasse et qu'au total la quantité de potasse absorbée est relativement importante.*

En dehors de la potasse soluble fournie par les eaux du sol, *dans quelle mesure la puissance dissolvante des racines peut-elle vaincre les propriétés absorbantes du sol* et *les racines peuvent-elles arracher au sol la potasse soluble qu'il retient?*

Pour avoir une idée de la quantité de potasse utilisée par les racines des plantes, M. Schlœsing dose la potasse soluble dans l'acide azotique faible (étendu d'eau, à 0,013 pour 100 d'acidité.) M. Garola a appliqué la méthode Schlœsing et les résultats qu'il a obtenus lui ont permis d'indiquer dans quel cas une terre pouvait être considérée comme n'étant pas assez riche en potasse et par conséquent sensible aux engrais potassiques : « en chiffres ronds, nous pouvons admettre qu'un sol privé de fumier ressentira les bons effets de la potasse des engrais, quand il dosera moins de $0^{gr},3$ de cet élément *soluble dans l'acide azotique faible* par kilogramme de terre ».

Quelques agronomes[1] ont employé, au lieu de l'acide azotique faible, de l'acide citrique, d'autres[2] de l'acide chlorhydrique. Tous ces procédés, tout en donnant des résultats qui se rapprochent très probablement de la vérité, n'ont cependant, au point de vue pratique, qu'une valeur relative. Il ne faut pas non plus attacher une trop grande importance à la quantité *totale* de potasse[3] que contient le sol : « On a remarqué que bien des terres, désignées par l'analyse comme riches en potasse totale, sont cependant fort sensibles aux engrais potassiques[4].

Lorsque l'analyse chimique indique une quantité de potasse totale faible, c'est-à-dire considérée comme appartenant à une terre pauvre, on est certain que cette terre a besoin d'engrais potassiques; lorsqu'au contraire l'analyse indique que la terre est riche en potasse, comme cette potasse peut ne pas être assimilable, il est toujours prudent de contrôler l'analyse par des essais directs de culture (voir p. 217).

62. Relation entre l'origine géologique des terrains et leur teneur en potasse. — Les terres d'origine granitique ou volcanique sont souvent suffisamment riches en potasse. Les terres

1. M. Dyer notamment.
2. M. Grandeau.
3. Obtenu avec l'acide azotique concentré et chaud (voir plus haut).
4. Lagatu, professeur de chimie à l'École nationale d'agriculture de Montpellier.

argileuses sont parfois assez bien pourvues de potasse; tandis que les sols calcaires n'en renferment que des proportions assez faibles.

Mais de ces généralités, il ne faut pas tirer des règles fixes pour l'emploi des engrais potassiques. Ainsi que le fait remarquer M. Lagatu, par exemple, pour les terres argileuses appelées souvent terres fortes : « il n'y a aucun lien entre la qualité de terres fortes et la richesse en potasse. C'est une coïncidence seulement probable dont la certitude n'est dégagée que par l'analyse. C'est pourquoi il est erroné de dire que les terres fortes sont toutes riches en potasse, et il y a lieu dans beaucoup de circonstances de choisir un engrais potassique pour terres fortes ».

IV. — CHAUX DES TERRES ARABLES

63. Richesse des terres arables en chaux. — Nous avons vu que la chaux est indispensable à l'alimentation des végétaux au même titre que l'azote, l'acide phosphorique, la potasse. Il est rare que le sol manque de chaux d'une façon absolue; même dans les terrains granitiques considérés comme très pauvres en chaux les plantes trouvent encore de très faibles quantités de chaux qui suffisent à leur développement.

Au point de vue de l'alimentation des plantes, une terre peut être considérée comme assez bien pourvue lorsqu'elle contient 1 gramme de chaux pour 1000 grammes de terre.

Mais, outre son rôle comme aliment direct des plantes, la chaux en a plusieurs autres très importants qui demandent des doses plus fortes :

1° la chaux est nécessaire à la formation de l'humus et à *la nitrification* : (la nitrification ne se fait que dans un milieu alcalin, voir p. 72);

2° les sels de chaux sont nécessaires à *l'ameublissement du sol*; cet ameublissement ne peut persister que si la terre contient des sels de chaux pour coaguler l'argile et arrêter son entraînement par l'eau;

3° la chaux est indispensable à certaines réactions chimiques : nous verrons qu'elle est utile à l'utilisation des engrais potassiques (p. 185).

Pour que tous ces rôles soient remplis convenablement, on estime que les terres doivent renfermer approximativement 5 grammes de chaux pour 100 grammes de terre.

Formes de la chaux dans les terres arables. — La chaux n'existe jamais dans le sol à l'état de chaux libre, elle n'y existe que sous forme de combinaisons :

Silicates de chaux. — Ils sont fréquents dans le sol. Ils sont très résistants et ne se décomposent qu'à la longue sous l'action incessante des eaux et de l'acide carbonique pour former du carbonate de chaux. Au point de vue agricole, on peut considérer les silicates de chaux comme inertes et les terres qui ne contiennent la chaux que sous cette forme comme dépourvues de cet élément.

Sulfate de chaux. — Les terres sont en général très peu riches en sulfate de chaux ou plâtre. Ce sel étant soluble dans l'eau (voir plâtre, *Chimie générale*, p. 141) et surtout dans l'eau chargée d'acide carbonique ou de matières humiques, on conçoit qu'il soit extrêmement diffusé dans le sol et qu'il soit enlevé assez facilement par les eaux de drainage.

Phosphate de chaux. — Se trouve très rarement dans les terres, excepté lorsqu'il constitue de véritables gisements.

Nitrate de chaux. — Nous avons vu que dans la nitrification des matières organiques azotées, il se forme de l'acide nitrique. Cet acide décompose le calcaire ou carbonate de chaux pour former du nitrate de chaux.

Ce sel est très soluble, il n'est pas retenu par la terre et les eaux l'entraînent facilement dans le sous sol ou dans les canaux de drainage. On s'explique dès lors pourquoi ce sel n'existe qu'en petites quantités dans les sols; c'est regrettable, car il forme le principal aliment azoté des plantes auxquelles il peut fournir également de la chaux.

Humates de chaux. — Nous avons vu que la matière organique azotée, à un degré d'altération plus ou moins avancée, forme des composés mal définis appelés *matières humiques* et jouant le rôle d'acide (*acide humique*) lorsqu'elles ne sont pas saturées par une base.

En l'absence de base, ces matières humiques restent libres et rendent les terres *acides*. Ces terres acides sont impropres à la culture; on fait disparaître leur acidité en leur incorporant de la chaux; il se forme alors des humates de chaux. Lorsque les terres contiennent du calcaire ou carbonate de chaux, les matières humiques acides décomposent le calcaire pour former des humates de chaux.

Ces humates de chaux sont des combinaisons mal définies, très complexes, renfermant surtout de la chaux et aussi de la matière organique plus ou moins décomposée, de l'acide phosphorique, de la potasse, de l'oxyde de fer, de l'alumine, etc. Ces humates correspondent à ce que l'on appelle *l'humus* dans les terres franches.

Nous avons vu le grand rôle que joue l'humus dans la formation des nitrates si nécessaires aux plantes (voir p. 71).

Carbonate de chaux. — Le carbonate de chaux ou calcaire est la principale forme sous laquelle existe la chaux dans les sols, c'est aussi la plus utile pour les plantes.

En effet, la *nitrification* ne peut se faire que grâce au carbonate de chaux (l'humate de chaux n'est pas apte à entretenir la production des nitrates); les réactions chimiques dans le sol que nous avons signalées plus haut ne peuvent également se faire sans carbonate de chaux.

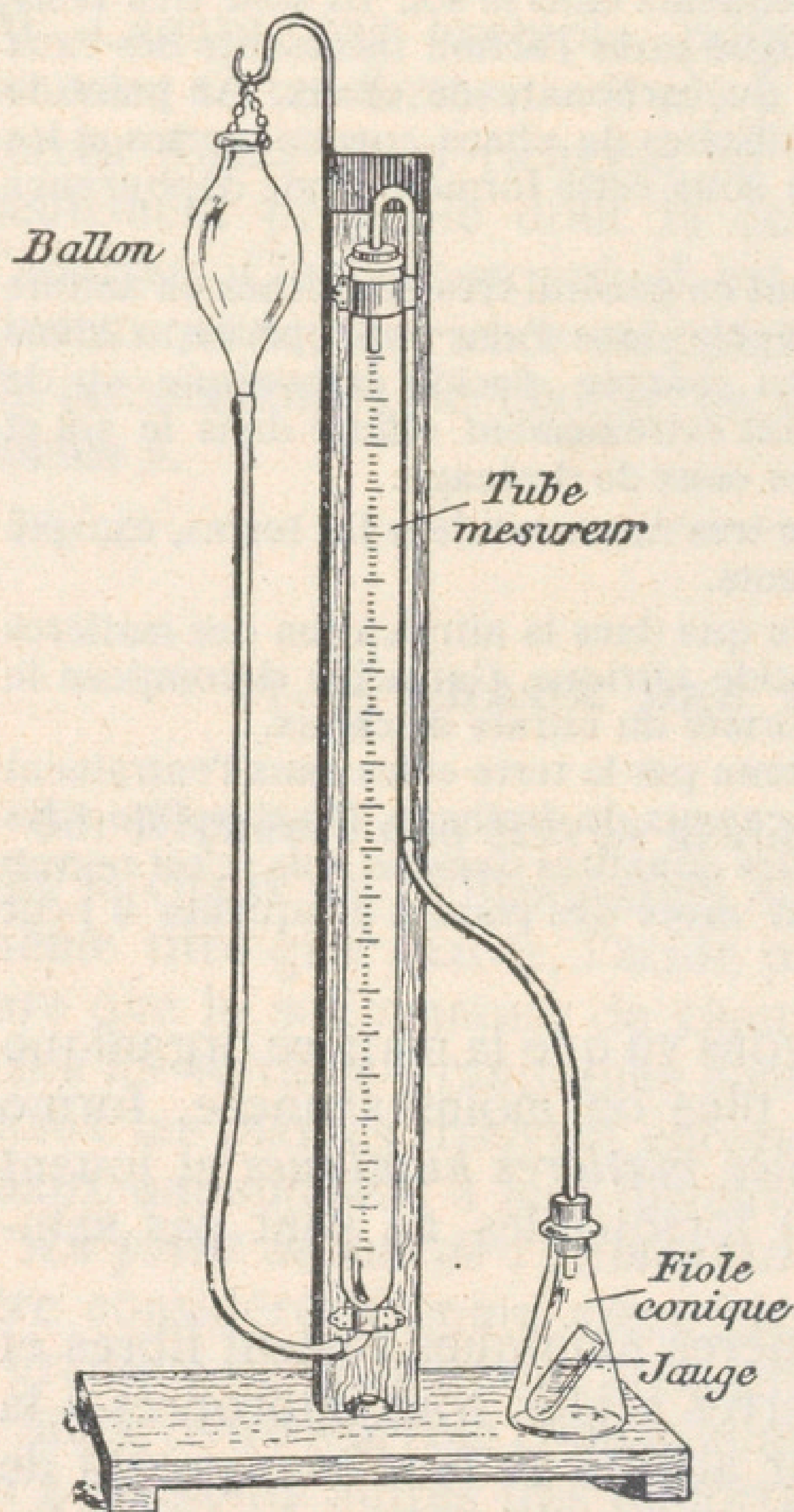


FIG. 34 — CALCIMÈTRE BERNARD *pour le dosage du calcaire dans les terres arables.*

C'est surtout le carbonate de chaux qui fournit de la chaux aux plantes.

Le calcaire, dans les sols, n'est efficace que lorsqu'il est *très divisé*. On conçoit, en effet, que le calcaire en gros fragments offre peu de surface à l'attaque par l'humus, par l'eau chargée d'acide carbonique, ou par les racines des plantes; cette surface est bien moindre que si ces mêmes fragments sont réduits en poudre. Une terre pourvue de calcaire seulement en gros fragments peut être considérée comme très pauvre en calcaire, ces gros fragments étant pour ainsi dire *inertes*. Aussi appelle-t-on *calcaire actif* ou utile le calcaire se présentant en grains très fins: dans la recherche du calcaire des terres on ne dose le calcaire que dans une terre passant naturellement et sans broyage au tamis de 10 fils par centimètre (tamis d'un millimètre).

Dosage du calcaire dans les terrcs arables. — Il est utile de connaître la quantité de calcaire que renferment les terres : 1° pour déterminer sous quelle forme doivent être donnés certains engrais chimiques; 2° pour déterminer quels cépages américains on doit employer comme porte-greffes dans la reconstitution des vignobles[1].

---

1. Les cépages américains que l'on emploie comme porte-greffes pour résister au phylloxéra redoutent plus ou moins le calcaire. Les cépages non résistant au calcaire prennent la *chlorose* (les feuilles jaunissent). Certains cépages américains ne peuvent se développer que dans les terrains dosant

Pour doser rapidement le calcaire on emploie des appareils appelés *calcimètres*.

Le procédé des calcimètres est le suivant : on fait agir sur une quantité déterminée de terre (1 gramme généralement) un acide étendu (de l'acide chlorhydrique étendu de moitié d'eau) ; cet acide décompose le calcaire et le gaz carbonique se dégage. Du volume du gaz dégagé on déduit, par le calcul, le poids du calcaire décomposé et par suite la richesse en calcaire de la terre essayée.

Parmi les nombreux calcimètres que l'on utilise, nous citerons le ***calcimètre Bernard.***

Le calcimètre Bernard (fig. 34) se compose d'une *fiole conique*, reliée par un caoutchouc à un *tube mesureur* gradué en demi-centimètres cubes et rempli d'eau. Ce tube communique par sa base avec un ballon à pointe suspendu à un crochet; ces deux récipients forment ainsi vases communiquants.

La quantité d'eau dans le tube mesureur doit être telle, qu'en fermant la fiole conique avec le bouchon en caoutchouc la partie inférieure du ménisque de l'eau soit toujours au zéro du tube.

Pratique de l'opération. — On pèse 1 gramme de terre *naturelle séchée, non broyée* et *tamisée* à l'aide d'un tamis de 1 millimètre (tamis dont les mailles sont de 1 millimètre de côté ou 10 fils au centimètre).

On introduit cette terre dans la fiole. On verse ensuite de l'acide chlorhydrique étendu de moitié d'eau dans un petit tube ou *jauge* que l'on remplit environ aux trois quarts. Cette jauge est déposée avec précaution dans la fiole au moyen d'une pince, de façon que le bicarbonate ne puisse à ce moment se déverser sur l'acide.

On bouche la fiole avec le bouchon de caoutchouc qu'on enfonce jusqu'à ce que le niveau de l'eau soit aussi exactement que possible au zéro de l'échelle.

De la main gauche, on décroche le ballon, de la main droite (le col de la fiole entre deux doigts, l'index sur le bouchon, et la paume aussi éloignée que possible pour que la chaleur de la main n'influe pas [1]) on fait chavirer la jauge de façon à mélanger la solution acide et la terre.

L'acide attaque le calcaire et le gaz carbonique se dégage faisant baisser le niveau de l'eau dans le tube mesureur.

Il faut agiter constamment la fiole jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de dégagement de gaz, c'est-à-dire jusqu'à ce que le niveau de l'eau dans le tube mesureur reste stationnaire. A ce moment, on place le ballon à côté du tube de façon que l'eau soit au même niveau dans le récipient. On lit alors le nombre de centimètres cubes de gaz dégagés.

Le nombre de centimètres cubes obtenu est multiplié par 0,4 pour avoir la proportion pour 100 de calcaire contenu dans la terre [2].

Exemple. — 1 gramme de terre a dégagé 48 centimètres cubes de gaz. La terre essayée contient $48 \times 0{,}4 = 19{,}2$ pour 100 de calcaire.

---

de 0 à 15 pour 100 de calcaire (Riparia Gloire de Montpellier, Vialla, etc.), d'autres dans des terres dosant de 15 à 30 pour 100, etc.

1. L'élévation de température occasionnée par la chaleur de la main peut donner une erreur de plusieurs centimètres cubes.

2. Le poids de calcaire qui produit un centimètre cube de gaz carbonique saturé de vapeur d'eau est sensiblement égal à 4 milligrammes.

Remarques. — Lorsqu'un gramme de terre donne plus de 100 centimètres cubes de gaz, c'est-à-dire plus que le calcimètre n'en peut mesurer, on met le gramme de terre en deux fois et on additionne les résultats.

Si la terre est au contraire très peu calcaire, on prend 5 grammes et l'on ramène au gramme le volume obtenu. Ex. : 5 grammes de terre ont donné 18 centimètres de gaz carbonique, 1 gramme dégagerait $\frac{18}{5} = 3^{cm^3},6$. La proportion de calcaire est donc de $3,6 \times 0,4 = 1,44$ pour 100.

64. Le calcaire se dissout dans les eaux du sol chargées de gaz carbonique. — La décomposition et la combustion de la matière organique dans le sol donnent du gaz carbonique. L'air du sol en est relativement chargé : dans les terres moyennes 1 pour 100 de son volume, dans les terres riches en matière organique jusqu'à 10 pour 100. Les eaux circulant dans le sol se chargent de ce gaz. D'après Schlœsing, dans une terre moyenne ayant une atmosphère contenant 1 pour 100 de gaz carbonique, l'eau chargée d'acide carbonique peut dissoudre $0^{gr},196$ de carbonate de chaux sous forme de bicarbonate.

Ce bicarbonate de chaux se diffuse dans toutes les parties du sol grâce à l'eau qui le fait circuler. Le bicarbonate qui n'est pas utilisé, soit par les réactions chimiques se produisant dans le sol, soit par les plantes, est entraîné dans les eaux de drainage ; mais comme le gaz carbonique qui se forme constamment dans le sol permet de nouvelles dissolutions de calcaire, on peut dire que les dissolutions de calcaire à l'état de bicarbonate existent à l'état permanent dans les terres.

65. Pertes de chaux des terres arables. — 1° *A l'état de bicarbonate.* — Nous venons de voir qu'un litre d'eau circulant dans le sol peut contenir $0^{gr},196$ de carbone de chaux sous forme de bicarbonate. Admettons que la hauteur d'eau tombée par an soit de $0^{m},55$ (comme aux environs de Paris) et qu'un cinquième environ de cette eau s'écoule comme eau de drainage, la perte de calcaire sera *d'environ 215 kilogrammes par an et par hectare.*

Comme on le voit, cette perte est très sensible ; elle l'est davantage lorsque les sols sont riches en matière organique et par conséquent riches en gaz carbonique.

2° *A l'état de nitrate.* — Nous avons vu (p. 71) que sous l'influence de la nitrification, il se forme de l'acide nitrique et que cet acide se combine avec la chaux du carbonate de chaux pour donner du nitrate de chaux.

Ce nitrate de chaux étant soluble et n'étant pas retenu par les propriétés absorbantes du sol, une certaine quantité de ce sel se perd dans les eaux de drainage : il y a perte d'azote (voir p. 74) et perte de chaux. Si l'on admet une perte d'azote nitrique de 20 kilogrammes, on calcule que la proportion de calcaire

entraîné à l'état de nitrate est d'environ 70 kilogr. Cette perte peut s'élever dans certaines terres à plus de 150 kilogr.

Lorsque la terre est riche en matière organique, la nitrification est forte; la quantité de nitrate formée est alors grande et plus grande est la perte.

3° *A l'état de sulfate.* — Le sulfate de chaux est un peu soluble dans l'eau (voir *Chimie générale*, p. 141); il n'est pas retenu par les propriétés absorbantes de la terre.

Les eaux de drainage peuvent donc en entraîner une certaine quantité. Mais la perte dans ce cas est peu importante. Elle est plus grande si on emploie, comme nous le verrons, des sulfates comme fumures (sulfate d'ammoniaque, sulfate de potasse, etc.) : ces sulfates en présence du calcaire se décomposent (il y a double décomposition); il se forme du carbonate d'ammoniaque (ou du carbonate de potasse) et du sulfate de chaux qui peut se dissoudre dans les eaux du sol.

Pour une fumure de 200 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque, il peut se former 65 kilogrammes de sulfate de chaux que les eaux peuvent entraîner peu à peu.

4° *A l'état de chlorure.* — Le chlorure de potassium, engrais potassique que l'on emploie souvent, décompose également le calcaire : il se forme du carbonate de potassium et du chlorure de calcium très soluble dans l'eau, pouvant être facilement entraîné dans les eaux de drainage.

Au total, les pertes que nous venons d'indiquer sont relativement importantes. Lorsque les terres sont très calcaires il est inutile de s'en préoccuper; mais lorsque les terres contiennent une quantité de calcaire voisine de celle qui est utile (5 pour 100), le cultivateur est obligé d'en tenir compte et d'apporter au sol une certaine quantité de chaux (voir *Chaulage*, p. 192).

V. — MAGNÉSIE, SOUFRE (ACIDE SULFURIQUE), FER DES TERRES ARABLES

La magnésie dans les terres végétales existe à l'état de carbonate et de silicate. C'est sous la forme de carbonate que la magnésie semble le plus favorable à l'assimilation des plantes. La plupart des terres contiennent plus de 1 gramme pour 1000 de magnésie; les sols calcaires en renferment jusqu'à 4 grammes pour 1000. Ces quantités sont suffisantes pour l'alimentation des plantes. Les agriculteurs n'ont donc pas à s'occuper de cet aliment.

Le soufre est nécessaire aux végétaux, notamment aux légumineuses et aux crucifères. Il existe dans la terre, non seulement sous forme d'acide sulfurique combiné aux bases pour former des sulfates, mais aussi (ainsi que l'a démontré M. Berthelot) sous forme de composés organiques sulfurés mal connus. *Le plâtrage* (addition de plâtre ou sulfate de calcium à la terre), qu'emploient les agriculteurs agit, probablement autant par l'acide sulfurique que par la chaux qu'il contient.

Le fer, surtout sous forme d'oxydes, se trouve généralement en quantité suffisante dans la plupart des sols, l'agriculteur ne s'en préoccupe pas.

L'ANALYSE CHIMIQUE DES TERRES

66. — L'analyse chimique d'une terre, c'est-à-dire la détermination de la quantité d'azote, d'acide phosphorique, de potasse et de chaux qu'elle renferme, ne peut être faite que par un chimiste.

Quelques personnes se font illusion sur les difficultés que présente l'application de certaines méthodes d'analyse réputées simples et à la portée de tout le monde. En réalité, pour *les analyses de terres*, les petits nécessaires de chimie, que l'on trouve à un prix modéré dans le commerce, ne rendent que de mauvais services aux agriculteurs en leur procurant l'occasion de faire de grosses erreurs très préjudiciables à leurs intérêts. Aussi n'hésitons-nous pas à dire aux agriculteurs que *le procédé le plus économique et le plus sûr pour avoir l'analyse de ses terres c'est de les confier à des chimistes connaissant leur métier, dans des laboratoires bien outillés.*

Le Ministère de l'Agriculture a mis à la disposition du public une série de stations ou de laboratoires où les agriculteurs peuvent faire exécuter les analyses à des prix modérés (3 à 5 francs le dosage de chaque élément fertilisant) et obtenir des renseignements très précis sur l'interprétation des résultats. (Voir la liste des *Stations agronomiques et des Laboratoires du Ministère de l'Agriculture*, p. 216.)

L'agriculteur qui désire connaître la richesse d'une terre doit envoyer au laboratoire agricole choisi un échantillon de la terre à analyser.

La ***prise d'échantillon*** est une opération très importante, car c'est d'elle que dépend l'exactitude de toutes les opérations. Voici comment on opère :

Quand le champ à examiner est quelque peu étendu, il faut reconnaître s'il est homogène, c'est-à-dire de même nature dans toutes ses parties, ce que l'on reconnaît à l'aspect des récoltes, à la végétation spontanée, à l'aspect de la terre. Si le champ n'est pas homogène il faudra prendre autant d'échantillons qu'il y aura de parties différentes.

Quand cette étude préliminaire est terminée, on creuse, sur plusieurs points de la partie homogène dont on veut avoir un échantillon, quelques tranchées à la bêche (7 ou 8 tranchées par exemple). Pour cela, on commence par enlever de la surface du sol les plantes vivantes ou mortes qui couvrent la terre ; on creuse ensuite avec une bêche un trou carré d'environ 50 à 60 centimètres de côté, d'une profondeur dépassant celle de la couche arable (remuée par la charrue), puis sur chacune des 4 faces de ce trou, on enlève à la bêche une mince tranche de terre de 5 à 6 centimètres d'épaisseur, que l'on coupe à sa base par un coup de bêche horizontal à la limite de la terre végétale. Les 4 tranches sont *intimement* mélangées.

Les terres obtenues des 5 ou 6 tranchées sont mélangées soigneusement pour constituer l'échantillon (1 kilogramme à 1 kil. 500). S'il y a de grosses pierres, on les trie à la main et on en détermine la proportion par la pesée.

Dans bien des cas il est utile de prélever un échantillon du sous-sol. On opère de la même manière, mais il faut prendre la terre à 60 ou 80 centimètres au-dessous de la couche arable pour que les racines des plantes n'influent pas sur les résultats.

CHAPITRE XII

PROPRIÉTÉS ABSORBANTES DES TERRES ARABLES

67. La terre végétale a la propriété de retenir, malgré l'action dissolvante de l'eau, un certain nombre de matières nutritives nécessaires à la vie de la plante. On donne souvent à cette propriété le nom de *pouvoir absorbant.*

Expérience I. — Faisons filtrer du purin à travers une couche de terre végétale, le liquide recueilli est incolore, sans mauvaise odeur.

Si, à la place du purin, on fait filtrer une dissolution *d'ammoniaque ou d'un sel ammoniacal* (carbonate, sulfate etc.), une grande partie de l'ammoniaque sinon la totalité est retenue par la terre.

Même expérience avec une dissolution d'un *sel de potasse* et une dissolution d'un *phosphate monocalcique* (soluble dans l'eau) ; mêmes résultats.

Expérience II. — En répétant la même expérience avec une solution de nitrates, on constate que ces *nitrates ne sont pas retenus par la terre.*

Expérience III. — Faisons passer de l'eau pure sur la terre végétale ayant retenu (expérience I) les sels ammonicaux ou de potasse ; cette eau n'enlève que des quantités très minimes des corps retenus par la terre.

On peut donc dire que le sol fixe certaines matières fertilisantes solubles à l'état insoluble.

Expérience IV. — Remplissons trois pots à fleur avec de la terre relativement pauvre. Arrosons le pot n° 1 avec du purin. Même opération avec le pot n° 2 et, de plus, lavons cette terre arrosée de purin avec de l'eau pure, qui d'après l'expérience précédente n'enlève presque rien du purin retenu par la terre.

Le pot n° 3 ne reçoit rien, il ne contient que de la terre et sert de témoin.

Si nous mettons une douzaine de graines d'orge ou d'avoine dans les 3 pots nous constatons que dans les 2 pots ayant reçu du purin on peut faire une récolte à peu près semblable et que cette récolte est supérieure à celle du pot n° 3 servant de témoin.

On peut donc dire que *le sol fixe les matières fertilisantes solubles et ne les cède ensuite qu'aux plantes.*

Des expériences ci-dessus on peut conclure que :

1° *Les terres arables ont la propriété d'absorber et de retenir, en les fixant, l'ammoniaque (et les sels ammoniacaux), la potasse (et les sels potassiques) corps solubles ;*

2° *Les nitrates ne sont pas fixés par le sol, ils peuvent être entraînés par les eaux de pluie.*

3° L'acide phosphorique libre ou sous forme de phosphate monocalcique que l'on trouve dans tous les superphosphates (engrais très employé par les agriculteurs) est également retenu par les sols : rencontrant dans la terre de la chaux sous forme de calcaire, de l'oxyde de fer et d'alumine, ils s'unissent rapidement à eux pour former des composés insolubles dans l'eau ou très faiblement solubles. Les substances *humiques*, que l'on rencontre en plus ou moins grande quantité dans toutes les terres, fixent l'acide phosphorique ou le phosphate monocalcique dissous : il se forme avec l'humus des combinaisons spéciales dont nous avons parlé.

Les propriétés absorbantes des terres sont très importantes; sans elles les terres ne pourraient garder, mettre en réserve les matières fertilisantes; ces dernières seraient entraînées peu à peu par les eaux de pluie dans les profondeurs du sol où les racines ne pourraient les atteindre, ou bien disparaîtraient dans les canaux de drainage complètement perdues pour l'agriculture.

Comment font les plantes pour prendre les matières fertilisantes retenues à l'état insoluble par les propriétés absorbantes du sol? Jamais la terre ne peut enlever *complètement* les matières fertilisantes (potasse ou ammoniaque) que tient en dissolution une certaine quantité d'eau; il en reste toujours des quantités, très minimes il est vrai, mais il en reste[1]. Des dissolutions *très étendues* circulent dans le sol sans abandonner une fraction importante des substances fertilisantes qu'elles renferment. « C'est là un point important, puisqu'il explique comment l'eau qui séjourne dans le sol amène à la plante les éléments qu'elle tient en dissolution, mais ne les amène qu'à un degré de dilution telle que la plante ne saurait en souffrir comme si elle était en contact avec une dissolution concentrée ».

M. Schlœsing a reconnu, en effet, dans l'eau du sol de petites quantités d'ammoniaque, de potasse, d'acide phosphorique, (de 0,1 milligramme à 3 milligrammes environ par litre pour chacune de ces matières).

Comme nous l'avons vu (p. 39) pour l'acide phosphorique, ces quantités très faibles sont prises par les plantes, et, à mesure qu'elles sont utilisées, de nouvelles quantités se dissolvent dans l'eau pour être mises à la disposition des végétaux. L'eau sert donc de véhicule aux principes solubles et insolubles que la terre retient; elle ne laisse circuler que très peu de matières à la fois, mais, la circulation étant incessante pendant la période

1. D'après les expériences de M. Brustlein

de la végétation, elle arrive à fournir aux plantes une quantité importante d'aliments.

En même temps, ainsi que nous l'avons vu aussi p. 39, les racines attaquent directement les autres matières fertilisantes insolubles (phosphates, carbonates, etc.). La circulation de l'eau ne fait que compléter cette action; sans elle, une partie des éléments fertilisants insolubles, que les racines n'auraient pas la chance de rencontrer dans le sol et par conséquent d'attaquer directement, resterait inutile à la végétation.

68. Quelles sont les causes du pouvoir absorbant du sol? — Le sable pur, ni le calcaire pur n'ont aucun pouvoir absorbant. L'argile et l'humus au contraire retiennent énergiquement les matières fertilisantes; c'est à eux que les terres doivent leur pouvoir absorbant.

Les sols dépourvus à la fois d'argile et d'humus sont incapables de fixer les substances fertilisantes. Le calcaire (carbonate de calcium) ou à défaut le carbonate de magnésie, joue ainsi que nous allons le voir un certain rôle :

D'après les recherches de M. de Mondésir, ce n'est pas le calcaire qui est nécessaire à la fixation, ce sont les humates ou silicates parmi lesquels surtout l'humate de chaux. L'acide humique et aussi l'acide silicique auraient la propriété de prendre les bases qui leur sont offertes par simple addition si elles sont libres, par double échange si elles sont à l'état de sels.

Le calcaire n'agit qu'indirectement.

En dehors des humates et des silicates, d'autres éléments peuvent aussi jouer un rôle dans le pouvoir absorbant (l'oxyde de fer, etc.)[1].

Nous n'insistons pas davantage, car au point de vue pratique, l'explication de ces faits intéressent moins les agriculteurs que les faits eux-mêmes.

Les expériences de différents agronomes nous montrent :

1° *Que les alcalis (potasse, soude, ammoniaques) les carbonates alcalins (carbonate de potasse, de soude, etc.) les phosphates et les humates solubles peuvent être directement absorbés et retenus par le sol, même en l'absence totale de calcaire.*

2° *Que les bases alcalines combinées aux acides minéraux, et formant ainsi des sels, sont également absorbées, dans les sols calcaires, après transformation préalable de sels en carbonates alcalins.*

---

1. M. Van Bemmelen conclut à la suite de ses expériences que le pouvoir absorbant est dû aux matières colloïdales du sol, silicates, oxyde de fer, acide silicique, substances humiques.

Comme le fait remarquer M. Schlœsing, il est possible qu'il intervienne des causes d'ordre physico-chimique telles que les affinités capillaires de Chevreul.

Exemple : En mettant du sulfate de potasse ou du chlorure de potassium (engrais potassiques) dans un sol contenant du calcaire (carbonate de calcium) il y a une double décomposition qui donne naissance à du carbonate de potassium (carbonate alcalin). Ainsi le chlorure de potassium donnera du carbonate de potassium et du chlorure de calcium très soluble. Si c'est du sulfate de potassium que l'on emploie, il se formera du *carbonate de potassium* et du sulfate de calcium ou plâtre. C'est le carbonate de potassium qui est retenu par le pouvoir absorbant du sol. Même fait pour le sulfate d'ammoniac (engrais ammoniacal) ; il se forme du carbonate d'ammoniac et du sulfate de calcium.

La présence dans le sol d'une quantité suffisante de calcaire (carbonate de calcium) *est utile à la transformation des sels potassiques ou des sels ammoniacaux en carbonate de potasse ou en carbonate d'ammoniaque retenus par les propriétés absorbantes du sol.* En l'absence de calcaire, la transformation des sels potassiques et des sels ammoniacaux ne se ferait pas et ces sels seraient entraînés par les eaux de drainage. Ces faits sont importants à retenir pour l'emploi des engrais potassiques et des engrais ammoniacaux.

3° *Que les acides, sels alcalins ou ammoniacaux, à l'exception de ceux qui forment des sels insolubles, ne sont pas retenus par le pouvoir absorbant et qu'il peut en résulter de sérieux inconvénients pour les nitrates (nitrate de soude, etc.) très employés comme engrais.*

Ainsi, par exemple, le nitrate de soude (engrais azoté très recherché a cause de l'acide nitrique qu'il contient) étant en présence du calcaire du sol, il se forme du nitrate de chaux soluble que les eaux de pluies peuvent entraîner et du carbonale de soude.

Limites du pouvoir absorbant des terres. — Les terres, quand elles ont absorbé et fixé à l'aide de leur pouvoir absorbant, une certaine dose de matières fertilisantes (potasse, ammoniaque) ne peuvent plus fixer de nouvelles doses.

La limite de la proportion des principes absorbés ne dépasse pas 2 à 3 grammes pour 1000 grammes de terre. Cette quantité qui paraît très minime est en réalité énorme par rapport aux exigences des récoltes. En effet, nous avons vu que le poids d'un hectare de terre (profondeur $0^m,30$) est d'environ 3600 tonnes ; le poids de la potasse qui peut être fixée est donc de 7200 à 10 800 kilogrammes, alors qu'une bonne récolte de blé en enlève environ 53 kilogrammes.

69. Conséquences pratiques. — Dans les bonnes terres végétales contenant par conséquent de l'argile et de l'humus ainsi qu'un peu de calcaire.

1° On peut mettre à l'avance des engrais potassiques et phosphatés, ces matières seront fixées et emmagasinées, les eaux de pluie ne pourront pas les enlever ;

2° Les engrais ammoniacaux (sels ammoniacaux, tels que sulfate d ammoniaque, etc.) sont retenus par le sol, mais comme la nitrification les transforme rapidement en nitrates, il n'est pas

prudent de les mettre trop longtemps à l'avance ; il ne faut les répandre qu'au moment où les plantes peuvent les utiliser ;

3° Les *nitrates* employés comme engrais (le nitrate de soude, par exemple) n'étant pas retenus par le pouvoir absorbant du sol, il ne faut les employer qu'au moment où les plantes en ont besoin (au printemps).

Dans *les sols très légers*, pauvres en argile et en humus, où le pouvoir absorbant s'exerce peu, il ne faut pas mettre trop à l'avance les engrais qui sont fixés par les bonnes terres ; il est prudent de ne les donner qu'au moment où les cultures peuvent les utiliser. Pour la même raison, et aussi parce que la nitrification se fait rapidement, il vaut mieux fumer les terres à doses faibles, mais répétées.

Influence des propriétés absorbantes sur la composition de l'engrais en terre. — L'acide phosphorique, la potasse et la matière organique (plus exactement l'azote organique) sont, ainsi que nous venons de le voir, retenus par les propriétés absorbantes du sol, tandis que l'azote nitrique et l'azote ammoniacal, assez rapidement nitrifiés, disparaissent assez vite dans les eaux de drainage.

Il arrive cependant que, lorsque les engrais azotés salins (nitrate de soude, sulfate d'ammoniac, etc.) ont été efficaces, lorsqu'ils ont provoqué une récolte abondante, le sol se trouve enrichi d'une faible fraction de l'azote introduit. C'est qu'en effet, dans ce cas, les résidus organiques (feuilles, chaumes, racines) ont donné, à cette fraction de l'azote des engrais solubles, une forme sous laquelle il échappe à la déperdition. Il est bon aussi de remarquer que ces débris organiques, enrichissant le sol en matières carbonées, favorisent le développement des microbes fixateurs d'azote ; de sorte que « l'azote que renferme le sol provient non seulement des débris végétaux laissés par les récoltes antérieures, mais aussi de l'atmosphère qui ne l'a cédé au sol que là où se trouvait de la matière carbonée. »

Il faut donc conclure que les récoltes les plus abondantes obtenues sous l'influence des engrais salins sont celles qui exercent sur le sol l'action la moins épuisante en azote ; si, en effet, la récolte est faible, l'engrais non directement utilisé est entièrement perdu dans les eaux de drainage. En revanche, ces récoltes prélèveront sur le sol d'autant plus d'acide phosphorique et de potasse que leur poids sera plus élevé.

Les résidus azotés organiques laissés par les engrais salins ne sont cependant que minimes, même en tenant compte de la fixation de l'azote que provoque la destruction lente de ces débris de récolte ; ce sont les résidus provenant de l'emploi des engrais organiques qui ont seuls une influence marquée sur les récoltes postérieures ; c'est ce qu'ont très bien observé les cultivateurs qui maintiennent dans la composition de leurs fumures le premier rang au fumier de ferme et aux tourteaux, n'employant les engrais salins qu'en proportions restreinte, pour élever le rendement de la récolte qui les reçoit.

Dans l'établissement des indemnités au fermier sortant, s'il faut tenir compte des fumures organiques, de l'apport des phosphates et des sels de potasse, on ne saurait guère, comme on le voit, accorder aux faibles résidus organiques développés par l'emploi des sels ammoniacaux ou des nitrates une valeur sensible.

CHAPITRE XIII

PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES DU SOL

LES MICROBES DU SOL ET LES VERS DE TERRE

70. Rôle des microbes. — C'est grâce aux travaux de Pasteur que les agronomes ont pu faire des recherches pour déterminer le rôle que jouent les microbes en agriculture.

Nous avons déjà remarqué l'influence qu'exercent certains ferments sur la nitrification, l'intervention de bactéries dans la vie des légumineuses, etc. Il est bon de relier tous ces faits et d'avoir une idée d'ensemble sur l'action des microbes du sol.

« Si les microbes, disait Pasteur, disparaissaient de notre globe, la surface de la terre serait encombrée de matière organique morte et de cadavres de tout genre (animaux et végétaux). Ce sont eux surtout qui donnent à l'oxygène ses propriétés comburantes ; sans eux la vie deviendrait impossible, parce que l'œuvre de la mort serait incomplète. »

Les végétaux[1], en effet, se nourrissent exclusivement de matières minérales prises dans le sol ou dans l'air et fabriquent de la matière organique. Les animaux, ne pouvant fabriquer leurs aliments au moyen des substances minérales, empruntent ces aliments tout formés aux végétaux, soit directement lorsqu'ils sont herbivores, soit indirectement lorsqu'ils se nourissent d'un animal herbivore. La matière organique provenant des végétaux ou des animaux ayant vécu se désagrège, se décompose, sous l'action des microbes, et ses éléments font retour au monde minéral. La mort, comme on le voit, est une nécessité permettant, avec l'aide des microbes, la régénération de la matière minérale nécessaire à la vie des nouveaux êtres organisés qui se succèdent. Ici encore, on pourrait appliquer le principe de Lavoisier, « *rien ne se perd, rien ne se crée* » ; nous assistons simplement à des transformations de la matière qui tour à tour circule dans le monde minéral, le monde végétal, le monde

---

1. Ceux qui sont pourvus de matière verte (chlorophylle).

animal pour revenir enfin au point de départ subir encore de nouvelles et infinies transformations.

Non seulement les microbes décomposent la matière organique en éléments simples pouvant servir au développement des végétaux, mais encore, ainsi que nous l'avons vu déjà, ils fixent l'azote, l'élément le plus réfractaire aux combinaisons, et le font entrer en quelque sorte dans les êtres vivants.

Nous savons aujourd'hui que dans le sol vivent un très grand nombre de micro-organismes, les uns sûrement utiles à l'agriculture, d'autres affectant un rôle indifférent, d'autres sûrement nuisibles. Ces microbes se trouvent en plus ou moins grande abondance dans toutes les terres, leur nombre varie avec la nature du sol, la saison, l'état de culture, la profondeur, etc.

« La terre humifère, la terre fumée en contient plus que la terre siliceuse ou non fumée; on en trouve plus après la jachère qu'après une culture de céréales, leur nombre diminue avec la profondeur; ainsi on en trouve moins à 2m50 ou 3 mètres de profondeur que dans les couches superficielles, ce qui permet de dire que la terre agit comme une espèce de filtre retenant les microbes à sa partie supérieure[1]. »

« Un gramme de terre humide, d'après M. Kayser, peut contenir 1, 2, 3, 40 et jusqu'à 50 millions de germes. Certaines terres labourées renferment par centimètre cube 6 millions de bactéries; des prairies peuvent en contenir jusqu'à 10 et 12 millions.

« Comme la matière organique est la condition essentielle pour l'existence des microbes, plus il y en a et plus nous trouvons de microbes; ainsi, dans le fumier de ferme leur nombre peut atteindre par centimètre cube 20, 30, 40 millions. Ces chiffres n'ont rien d'extraordinaire, si l'on réfléchit que certains microbes se doublent en l'espace de 20 à 30 minutes et peuvent donner naissance à 30, 40, et 50 générations successives dans les vingt-quatre heures. »

Une terre dépourvue de microbes ne peut être cultivée économiquement :

Chauffons une terre vers 110 degrés; à cette température la constitution chimique du sol ne subit pas de sensibles modifications, mais tous les microbes sont tués, la *terre est stérilisée.* Dans cette terre stérilisée, la végétation reste chétive, misérable, le développement de la plante est anormal en même temps qu'irrégulier, contrairement à ce qui se produit dans une terre ordinaire non chauffée.

---

1. Kayser

Si dans un sol stérilisé on incorpore de la délayure de terre ordinaire, on apporte ainsi des microbes, et le sol qui était *mort* redevient *vivant*, propre au développement des plantes.

Les microbes utiles du sol sont donc les auxiliaires indispensables de la production végétale et nous voyons que la fertilité des terres ne dépend pas seulement de la constitution physique et de la constitution chimique du sol mais aussi de l'activité microbienne, des propriétés biologiques du sol.

71. Natures des microbes du sol. — On peut diviser les microbes en deux grandes classes : les microbes aérobies (qui vivent au contact de l'air) et les microbes anaérobies (qui vivent à l'abri de l'air). Ces derniers empruntent l'oxygène aux composés oxygénés, organiques ou minéraux, qu'ils réduisent ainsi énergiquement; de là le nom de *ferments réducteurs* qu'on leur donne quelquefois, par opposition à celui de *ferments oxydants* donné aux microbes aérobies.

Pour donner une idée de l'action des microbes nous passerons en revue quelques espèces utiles jouant un rôle important dans les transformations successives de l'azote.

Ferments humificateurs. — Nous avons vu (p. 56) que l'humus est le résultat de la décomposition des corps organisés (végétaux et animaux) sous l'influence de l'oxygène, de l'humidité et surtout des microbes.

Dans les sols cultivés, aérés, ce sont les *ferments oxydants* qui agissent; dans les terres humides, mal aérées, ce sont les ferments *réducteurs* qui entrent en action. Dans tous les cas, les matières organiques se transforment peu à peu en humus; les *hydrates de carbone* (gommes, sucres, dextrines, amidon, cellulose, etc.), qui contenaient ces matières, se transforment en composés gazeux ou volatils, parmi lesquels dominent l'acide carbonique, l'eau et le gaz des marais.

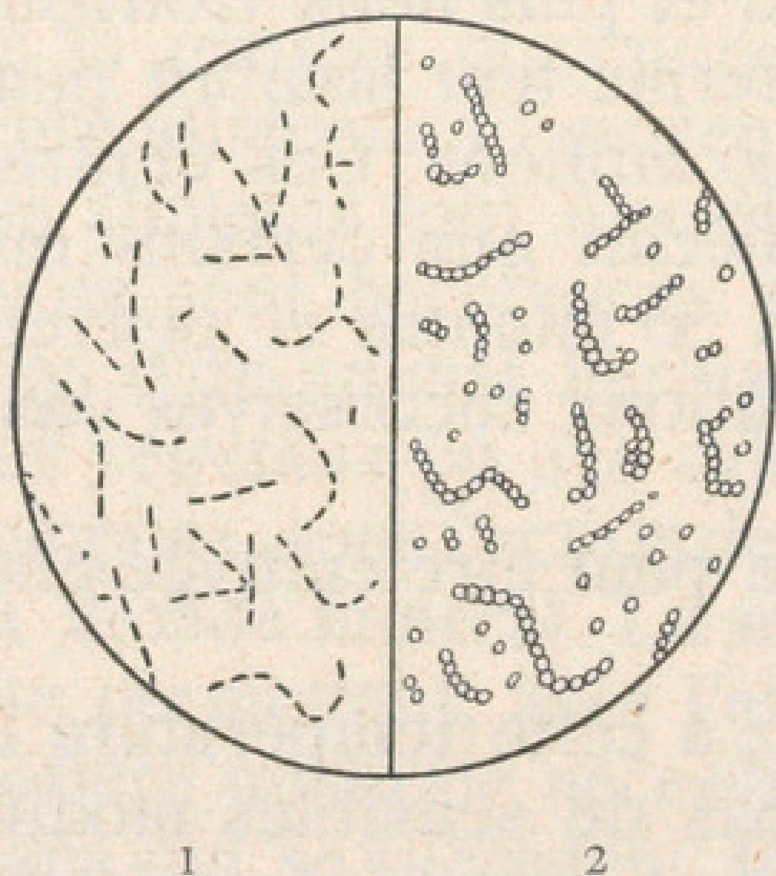


Fig. 35. — Un des ferments ammoniacaux vu du microscope. (*Bacillus mycoïdes*). 1 *jeune*; 2 *âgé* (*sporulé*).

Nous verrons (p. 120), en étudiant les fermentations qui se produisent dans le *fumier en tas*, comment se transforme la matière organique sous l'action des ferments.

Ferments ammoniacaux. — L'humus, une fois formé, subit la fermentation ammoniacale; les matières azotées de l'humus,

sous l'action de certains ferments, se transforment en composés ammoniacaux ; en un mot l'azote organique se transforme en azote ammoniacal, ainsi que nous l'avons vu (p. 71).

Cette fermentation ammoniacale est due à un certain nombre de microbes parmi lesquels, d'après M. Marchal : *les Bacilles arborescens, mesentericus, mycoïdes* (fig. 35), *fluorescens*, le *Bacterium coli*, le *Proteus vulgaris*, différents *micrococcus* dont le plus anciennement connu est le *micrococcus uræ*, transformant l'urée de l'urine en carbonate d'ammoniac (voir Chimie générale, p. 129). D'après M. Kayser l'*urobacillus Pasteurii* transforme par heure jusqu'à 3 grammes d'urée en carbonate d'ammoniaque.

A côté de ces microbes, on trouve également des *moisissures* agissant dans le même sens : *Mucor raremosus, aspergillus, busarium müntzii*, etc.

Ferments nitrificateurs. — Dès que les ferments ammoniacaux ont produit de l'ammoniac et des composés ammoniacaux, un ferment, appelé le *ferment nitreux* (voir p. 71, *fig.* 32), s'en sépare et transforme l'ammoniaque en acide nitreux ou les sels ammoniacaux en *nitrites*.

Un autre ferment, appelé *ferment nitrique*, intervient à son tour et tranforme l'acide nitreux en acide nitrique ou les nitrites en nitrates, si utiles à l'alimentation des plantes (voir Nitrification, p. 70).

La nitrification de la matière organique exige, comme on le voit, l'association de trois sortes de ferments : ferments ammoniacaux, ferment nitreux et ferment nitrique, qui agissent successivement et dans l'ordre indiqué ; les produits fabriqués par les ferments ammoniacaux servent au ferment nitreux et les produits fabriqués par ce dernier sont utilisés enfin par le ferment nitrique.

On peut obtenir dans certaines conditions, ainsi que nous l'avons vu, une nitrification extrêmement rapide pouvant se comparer à la fermentation alcoolique tumultueuse (Recherches de MM. Müntz et Lainé, p. 75).

Ferments dénitrificateurs. — Ces microbes défont l'œuvre des ferments nitrificateurs ; ils décomposent les nitrates en nitrites, en composés oxygénés de l'azote et quelquefois en ammoniaque :

« Ces dénitrificateurs sont très abondants dans la nature ; ils existent partout où il y a de la matière organique : dans le fumier frais de cheval, de mouton, dans la paille, dans les eaux et dans le sol ; on en connaît déjà une trentaine d'espèces, les uns décomposant les nitrates jusqu'au terme *nitrite*, les autres l'amenant au terme *azote gazeux*. Les conditions essentielles pour que ces microbes, plutôt nuisibles à l'agriculture, se développent sont la ma-

tière organique et les nitrates; les espèces aérobies paraissent dominer et leur action peut être expliquée par le besoin d'oxygène.

« Wagner, en Allemagne, a surtout signalé le fait que le nitrate de soude employé en même temps que du fumier de cheval ne donnait nullement les rendements qu'on était en droit d'espérer et il l'attribue à l'action néfaste exercée par les dénitrificateurs. On exagéra tellement leur rôle et leur importance qu'on alla jusqu'à préconiser l'addition d'acide sulfurique au fumier pour les empêcher d'agir (voir p. 122). C'était empêcher toute action vitale dans cet excellent engrais qui, pour devenir utilisable par les plantes, doit subir au préalable des actions microbiennes diverses » (Kayser).

Les expériences de Déhérain ont montré combien étaient exagérées les craintes basées sur l'action des dénitrificateurs. On peut dire que, dans les conditions normales, ces microbes ne jouent qu'un rôle secondaire.

Ferments fixateurs d'azote. — 1° *Fixation d'azote de l'air par les microbes des nodosités des légumineuses.* — Nous avons montré (p. 24) que les légumineuses présentent sur leurs racines des *nodosités* renfermant des bactéries. Ces microbes forment avec les légumineuses une association vitale (symbiose) qui se traduit par un échange d'aliments nutritifs entre la plante et ses hôtes : les microbes fixent l'azote de l'air, fabriquent avec cet azote une matière azotée qu'ils fournissent à la légumineuse pendant que cette dernière, en échange, leur envoie, par sa sève, les produits carbonés formés dans ses feuilles.

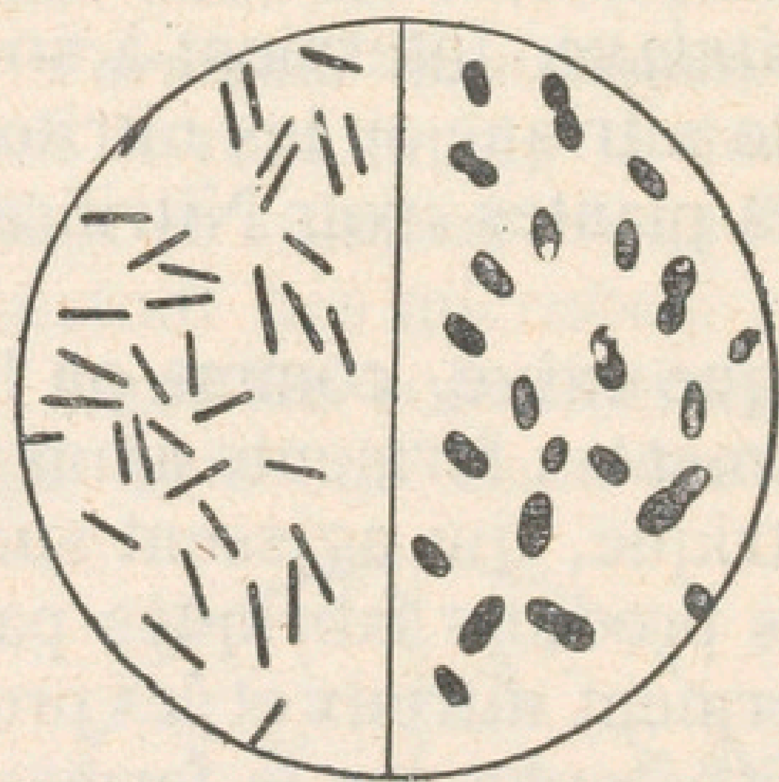


Fig. 36. — Ferments fixateurs d'azote.
1. *Clostridium pasteurianum*;
2. *Azotobacter chroococcum*.

2° *Fixation d'azote de l'air sans association vitale (symbiose).* — Nous avons indiqué déjà (p. 77) que les terres fixent l'azote de l'air par l'intermédiaire de microbes : M. Winogradsky a isolé un de ses microbes (*le Clostridium pasteurianum* (fig. 36, 1), M. Beijerinck en a obtenu deux autres (*les Azotobacter chroococcum* (fig. 36, 2) *et agilis*).

Il est assez curieux de remarquer que les algues et les mousses fixent également l'azote de l'air (voir p. 25), mais que cette fixation n'a lieu que par l'association des algues et des bactéries.

72. Applications dans la pratique. — Dès que l'on connut les propriétés fixatrices d'azote des microbes dont nous venons de parler, on songea à en tirer un profit pratique en ensemençant ces microbes dans le sol.

Nous avons indiqué (p. 25) les essais entrepris avec la ***nitragine*** (cultures pures de bactéries légumineuses) pour augmenter le rendement des récoltes de légumineuses.

Nous avons indiqué également (p. 78) les essais entrepris avec l'***alinite***, culture pure d'un bacille (*Bacillus mégatherium*) fixant directement l'azote libre de l'air, pour augmenter le rendement des céréales.

Les résultats obtenus avec la nitragine et l'alinite ont été contradictoires, l'emploi de ces bactéries en agriculture n'a pas réussi.

Quel est le sort réservé aux bactéries incorporées à la terre pour augmenter les récoltes? — A cette question, M. Mazé, savant physiologiste de l'Institut Pasteur, répond :

« Si l'espèce que l'on emploie est déjà dans le sol en expérience, ces bactéries, affaiblies par le changement de milieu, ne produiront pas grand effet; si l'espèce manque, cela tient à ce que le milieu ne lui convient pas. L'usage des cultures pures de bactéries (comme la nitragine et l'alinite) ne semble pas devoir donner de bons résultats.

« Les fumures, les amendements, les engrais, les irrigations permettent seuls de transformer radicalement les fermentations qui se produisent dans le sol sous l'action des bactéries. »

Peut-être un jour parviendrons-nous, grâce à une connaissance plus approfondie des infiniment petits, à faciliter le développement et à augmenter l'activité de certains microbes du sol utiles aux plantes.

Pour le moment, tout ce que nous pouvons faire, en ce qui concerne la nourriture azotée des plantes, c'est d'employer d'une manière raisonnée, dans les assolements ou dans les engrais verts, les légumineuses fourragères qui fixent de l'azote.

Hiltener, un des propagateurs de la nitragine, attribue les insuccès à une application irrationnelle de ces microbes. « Il a fait voir que les sécrétions des graines en germination sont nuisibles aux bactéries des légumineuses; aussi conseille-t-il d'infecter de microbes ces graines, seulement après les avoir laissé gonfler; de plus, il aide au développement des bactéries par l'addition de solutions de sucre, de peptone ou de lait. Ces substances favorisent la multiplication des microbes et compensent en quelque sorte l'effet nuisible des sécrétions des graines. Hiltener tient grand compte de l'origine du microbe, de sa virulence, de son énergie qu'il développe par une série de générations successives en se servant toujours de microbes isolés de la légumineuse qu'il veut cultiver. Grâce à ces

perfectionnements les résultats positifs, c'est-à-dire l'augmentation de rendement, atteindraient dans certains cas 54 p. 100 » (Kayser).

On a essayé l'emploi des *Azotobacter* de Beijerinck, dont nous avons parlé. On n'a pas non plus obtenu de bons résultats. Mais malgré ces insuccès, comme le fait remarquer M. Kayser, rien ne nous autorise à rejeter complètement l'emploi des microbes.

Beaucoup de faits restent encore obscurs, beaucoup attendent une explication, exigent une réponse; mais, nous le comprenons facilement, si nous réfléchissons que l'expérimentateur n'est guère maître de ce milieu complexe qui constitue la terre arable, nous le concevons encore mieux si nous ajoutons que la bactériologie agricole est une science jeune qui n'a pas plus de vingt ans d'existence.

Les expériences récentes de MM. Müntz et Girard sur la nitrification intensive dont nous avons parlé plus haut nous font déjà prévoir l'utilisation prochaine des ferments pour la fabrication de nitrates. Malgré les insuccès obtenus avec l'alinite et la nitragine, tout n'a pas été dit, comme on le voit, sur l'emploi des microbes. Nous pensons que l'étude des micro-organismes dans leurs diverses manifestations vitales permettra très probablement un jour d'en tirer le plus grand profit au point de vue agricole.

73. Du rôle des vers de terre. — Les *microbes* et les *champignons* ne sont pas les seuls êtres vivants qui travaillent à la décomposition de la matière organique et à sa transformation en humus. Les vers de terre collaborent puissamment à cette œuvre. Depuis longtemps Darwin a signalé leur rôle important (fig. 37) :

Les vers tirent dans leur trous un nombre infini de feuilles mortes et d'autres débris de plantes, en partie pour boucher les trous, en partie comme nourriture.

« Les feuilles qui servent à ce dernier usage, après avoir été déchirées en petit fragments, partiellement digérées et saturées avec les sécrétions intestinales et urinaires, sont mélangées à une grande quantité de terre. Cette terre forme l'humus riche et de couleur foncée qui recouvre presque partout la surface de la terre d'une couche ou couverture assez bien marquée. Von Heusen plaça deux vers dans un vase de 45 centimètres de diamètre rempli de sable sur lequel on étendit des feuilles sèches; celles-ci furent bientôt entraînées dans les trous jusqu'à une profondeur de $7^{cm},5$. Après six semaines environ, une couche presque uniforme de sable d'un centimètre d'épaisseur fut convertie en humus après avoir passé par les canaux alimentaires de ces deux vers. »

M. Kotstytcheff a examiné de son côté les résidus provenant des digestions des vers de terre, et il ajoute : « Dans la nature, les matières humiques pas-

sent plusieurs fois à travers les organismes. Les matières rongées, déposées comme excréments, ne sont plus propres à la nourriture des animaux, mais les champignons et les bactéries s'y établissent, et dans peu de temps toute trace de la structure des plantes qui lui ont donné naissance a complètement disparu.

Les vers de terre, ainsi que le font remarquer MM. de Ribaucourt et Combaut, exercent une grande influence sur les qualités des terres; ils remuent la terre, la retournent sans cesse et exercent sur elle une sorte de tamisage qui tend à apporter à la surface la terre la plus fine. Dans le cours des siècles, ils ont puissamment contribué à en pulvériser plus finement les éléments; ils sont les meilleurs agents du mélange intime de

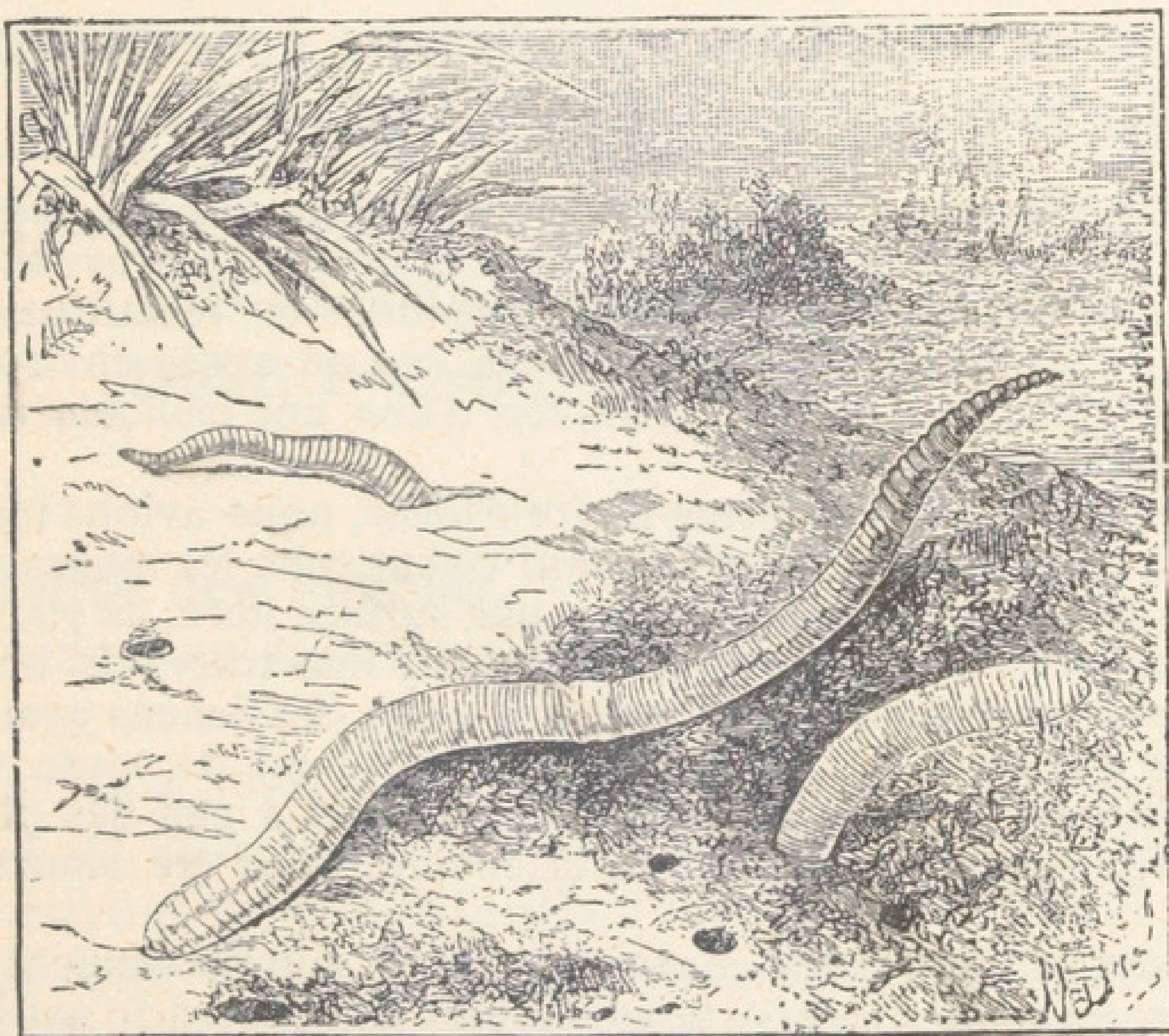


Fig. 37. — Lombric terrestre ou ver de terre.

tous les principes minéraux qui la constituent; ils assurent sa constante richesse organique en recouvrant les débris végétaux et animaux qui sont à la surface et en y rapportant ceux qui se trouvent enfouis dans la profondeur; ils entraînent dans leurs galeries les feuilles d'arbres à demi décomposées. Leurs déjections, dont le poids annuel est considérable (600 grammes environ pour le Lombricus herculeus), sont faites d'une terre de choix, très fine et très fertile.

Les galeries dont ils sillonnent le sol assurent la libre circulation de l'eau et de l'air; ils drainent ainsi les sols humides, y favorisent l'accès de l'oxygène, l'évacuation de l'acide carbonique et aident à l'assimilation bactérienne de l'azote, et de

l'ammoniaque atmosphérique. Enfin ils préparent pour les jeunes racines un terrain très propice.

Un fonctionnaire anglais, M. Millson, signale en Guinée des plaines fertiles, couvertes de cultures variées, qui doivent leur fertilité aux façons continuelles que donnent les vers de terre :

« Toute la surface des prairies, dit l'auteur, est couverte de rangs serrés de déjections cylindriques de vers de terre, ayant de 6 à 75 millimètres, en nombre surprenant; pendant des lieues et des lieues elles recouvrent le sol, droites, très rapprochées, brûlées par le soleil, en forme de cylindres rigides, de boue durcie qui demeurent jusqu'au moment où la pluie les a réduits en une poudre fine.... Si l'on creuse le sol, on voit qu'il est parcouru en tous sens par d'innombrables galeries de lombrics... c'est là un labourage constant et gratuit; les populations l'apprécient si bien qu'elles ne cultivent pas les endroits où le ver de terre fait défaut. »

Pour montrer l'utilité des vers de terre nous citerons les expériences de MM. de Ribaucourt et Combault :

Première expérience. — « A Morgins, en Valais (Suisse), se trouve, à 2000 mètres d'altitude, un terrain complètement stérile. Nous avons transporté sur ce terrain un assez grand nombre de Lombrics en remarquant bien l'endroit déterminé où nous les avions déposés. Un an après environ, on pouvait voir ce sol, jusque-là stérile, recouvert d'une fine pellicule d'humus sur une assez grande étendue.

2° *Expérience.* — « Dans le même genre d'idées, nous avions placé sur des rochers absolument nus des Lombrics qui vivent sous les mousses des montagnes. Lorsque les vers cheminent sur une surface libre, ils y abandonnent une substance visqueuse qui permet de suivre leur trace. Or, un an après, nous pouvions encore suivre la trace de nos vers; des lichens avaient poussé là; et on sait que les lichens sont le commencement de toute végétation, qu'après les lichens viennent les mousses, puis, peu à peu des plantes, plus hautement organisées; la végétation, là encore, avait été amorcée par les vers.

3° *Expérience.* — Deux petits champs enclos de murs donnaient à peu près des récoltes équivalentes (proportionnellement à la superficie naturellement). Nous avons pris le soin de bêcher plusieurs fois l'un de ces champs et de ramasser presque tous les vers de terre qui s'y trouvaient. Puis, nous les avons portés dans l'autre champ. Les deux champs furent ensemencés avec du seigle et cultivés de même façon. La récolte fut, proportionnellement à la superficie, environ un quart plus forte dans le champ où nous avions jeté nos vers que dans le champ d'où nous les avions retirés. »

Ces expériences et les faits cités plus haut montrent bien l'utilité des vers en agriculture.

Hensen estime qu'il y a environ 133 000 vers de terre par mètre carré. D'après les observations de M. Beaugé, il peut y en avoir plus de 133 000 par mètre carré de champ cultivé, soit 1 330 000, c'est-à-dire dix fois plus ; il peut y en avoir aussi beaucoup moins, cela dépend des sols.

Les recherches faites au Soudan montrent que les vers de terre abondent aussi bien dans les régions chaudes que dans nos climats tempérés. Même dans les régions chaudes où le sol est sec, dénudé ou couvert d'une végétation médiocre, les vers ne sont pas rares.

ALIMENTATION DES PLANTES
LES ENGRAIS

CHAPITRE XIV

DE L'UTILITÉ DES ENGRAIS — LOI DU MINIMUM
LA LOI DE RESTITUTION ET LES AVANCES D'ENGRAIS FAITES AU SOL.
DOSE D'ENGRAIS A EMPLOYER.

74. Utilité des engrais. — Nous savons maintenant comment la plante se nourrit, quels sont les aliments qui lui sont nécessaires.

Nous savons aussi quels sont les aliments que peuvent fournir le sol et l'air, quelle est la quantité de chacun d'eux que le sol et l'air peuvent mettre à la disposition de la plante.

Il nous reste à indiquer les substances utiles à l'alimentation des plantes que l'agriculteur doit fournir au sol pour obtenir une bonne récolte; ces substances, on les appelle ***engrais.***

Parmi ces engrais, *l'agriculteur ne doit s'occuper que de ceux qui fournissent* l'***azote***, l'***acide phosphorique***, la ***potasse***, la ***chaux***, ces éléments étant pratiquement les seuls que les plantes trouvent insuffisamment dans le sol[1].

L'étude du sol nous a montré que la terre contient des stocks considérables d'azote, d'acide phosphorique, de potasse. Par

---

1. Des expériences récentes de M. Gabriel Bertrand (communication à l'Académie des siences, 26 septembre 1905), montrent que es terres contenant du manganèse produisent cependant un excédent de rendement lorsqu'on emploie de petites quantités de manganèse (sulfate de manganèse) comme engrais.

Des expériences sont encore nécessaires pour se prononcer sur l'utilité de ce corps.

exemple, pour une terre de fertilité moyenne contenant par kilogramme,

1 gramme d'azote,		2 grammes de potasse,	
1 —	d'acide phosphorique,	50 —	de chaux.

la couche de terre arable sur une épaisseur de 0m,30 renferme :

3600 kilogr. d'azote,		7200 kilogr. de potasse,	
3600 —	d'acide phosphorique,	18000 —	de chaux,

Or, une récolte exigeante en éléments fertilisants, comme la betterave fourragère (racines, 40000 kilogrammes, feuilles, 20000 kilogrammes) enlève[1] :

102 kilogr. d'azote,		258 kilogr, de potasse,	
48 —	d'acide phosphorique,	50 —	de chaux.

En admettant que l'on ne tienne pas compte des autres causes de déperdition d'azote, on voit donc que les quantités de principes fertilisants que contient la terre arable seraient suffisantes pour alimenter des récoltes pendant un grand nombre d'années.

Cependant, en pratique, l'agriculteur constate que dans une terre moyenne où l'on n'emploie pas d'engrais, la récolte décroit au bout d'un très petit nombre d'années. C'est ainsi qu'un champ de betteraves, dans les expériences de MM. Lawes et Gilbert à Rothamsted, donna successivement :

1re année	10 516 kilogrammes.	3e année	1 722 kilogrammes,
2e —	5 555 —	4e —	récolte insignifiante.

C'est que, (nous l'avons vu dans la constitution chimique du du sol p. 67) les matières fertilisantes que contiennent les terres ne sont pas immédiatement assimilables; elles ne le deviennent que progressivement. En réalité, dans les sols, il y a deux catégories de matières fertilisantes :

1° *Les matières fertilisantes non assimilables par les racines des plantes, constituant le capital de réserve, qui se transforme peu à peu pour régénérer les matières fertilisantes assimilables qui disparaissent.*

2° *Les matières fertilisantes directement assimilables, véritable revenu de ce capital de réserve.*

Les matières fertilisantes directement assimilables sont relativement en petite quantité dans un sol de fertilité moyenne. Une première récolte sans engrais les utilise en partie; elle est en quelque sorte *proportionnelle à cette quantité d'aliments disponibles*, d'autant plus abondante qu'il y a plus d'aliments.

---

1. D'après MM. Müntz et Girard.

La première récolte étant enlevée, une nouvelle quantité de matières assimilables, résultant de la transformation des matières non assimilables, vient s'ajouter à celles qui restent dans le sol pour alimenter une récolte nouvelle toujours obtenue sans engrais.

L'alimentation des récoltes successives, sans engrais, devient donc de plus en plus difficile, et ces récoltes doivent finalement se contenter du revenu annuel du capital de réserves, c'est-à-dire des matières fertilisantes assimilables résultant chaque année de la transformation des matières non assimilables. *Si cette dose, devenue ainsi disponible chaque année dans la couche totale occupée par les racines, ne surpasse pas les besoins de la récolte, l'alimentation deviendra insuffisante et la récolte diminuera. Cette diminution de la récolte sera d'autant plus grande que la terre sera moins fertile et la culture plus exigeante.*

L'exigence des récoltes et aussi la faculté qu'ont les racines des plantes de puiser leurs aliments à une plus ou moins grande profondeur ne sont pas les mêmes pour toutes les cultures. Les *céréales*, par exemple, sont moins exigeantes que les betteraves fourragères, dont nous avons parlé plus haut. Dans des terres cultivées sans engrais, elles donnent aussi des récoltes qui vont en diminuant progressivement, mais la décroissance est moins rapide. C'est ainsi que MM. Lawes et Gilbert, dans leurs expériences à Rothamsted, ont obtenu, par an et par hectare, pendant 6 périodes successives de 8 années, dans une terre dosant $1^{g},1$ d'azote par kilogramme de terre :

De 1844 à 1851. .	$15^{hl},6$ de blé.	De 1868 à 1875. .	$11^{hl},0$ de blé.
De 1852 à 1853. .	$14^{hl},8$ —	De 1876 à 1883. .	$9^{hl},4$ —
De 1860 à 1867. .	$12^{hl},1$ —	De 1884 à 1891. .	$11^{hl},4$ —

Pour les *pommes de terre*, les mêmes expérimentateurs ont obtenu annuellement par hectare pour 4 périodes successives de 5 années :

De 1876 à 1880 . .	1967 kilog.[1]	De 1886 à 1890 . . .	508 kilog.
De 1881 à 1885 . .	998 —	De 1891 à 1895 . . .	492 —

Sur des terres exceptionnellement fertiles et très profondes, telles que les terres noires de Russie, les récoltes de blé peuvent se succéder très longtemps sans décroître sensiblement. Sur des terres de la côte du Pérou on obtient, depuis plusieurs centaines

1. Certaines cultures fourragères, cependant très exigeantes au point de vue de la quantité d'aliments, épuisent très peu le sol : telles sont les *prairies naturelles*, dont la durée peut être presque indéfinie. Les prairies reçoivent beaucoup de matières nutritives par les eaux d'irrigations, elles fixent d'ailleurs l'azote de l'air par l'intermédiaire des bactéries des légumineuses, des microbes associés aux algues et aux mousses (voir p. 24), etc.

d'années, des récoltes satisfaisantes. Boussingault a observé, sur les plateaux des Andes, certains sols où, depuis plus de deux siècles, se succèdent sans interruption de bonnes récoltes de céréales. Mais tous ces cas particuliers sont des exceptions très rares. De sorte que l'on peut dire que les **terres de fertilité moyenne, et à plus forte raison les terres pauvres cultivées sans engrais, ne donnent que des récoltes médiocres ou insignifiantes.**

L'agriculteur, étant données les conditions économiques, ne peut pas se contenter des récoltes médiocres ou insignifiantes; pour assurer la subsistance de la population qui s'accroît sans cesse, il est obligé d'augmenter artificiellement la provision d'aliments que le sol met à la disposition des végétaux par sa désagrégation continuelle et lente ; il est obligé d'employer des **engrais.**

75 Loi du minimum. — *Les récoltes sont proportionnelles (quand les conditions atmosphériques sont convenables) à la quantité de l'élément fertilisant absorbable et assimilable qui se trouve au minimum dans le sol, relativement aux besoins des plantes.*

Ainsi par exemple la production d'une bonne récolte de blé exige par hectare :

Azote	90 kilogrammes.
Acide phosphorique	92 —
Potasse	53 —

Si le blé trouve dans le sol toute la quantité d'acide phosphorique et de potasse qui lui est nécessaire, mais ne trouve que la moitié de l'azote, soit 45 kilogrammes, la récolte sera *théoriquement* réduite de moitié. Avec les 45 kilogrammes d'azote qu'a le blé à sa disposition, il prendra des quantités proportionnelles des autres éléments fertilisants, soit 46 d'acide phosphorique et 26 kilogrammes de potasse; le restant de l'acide phosphorique et de la potasse ne sera pas utilisé.

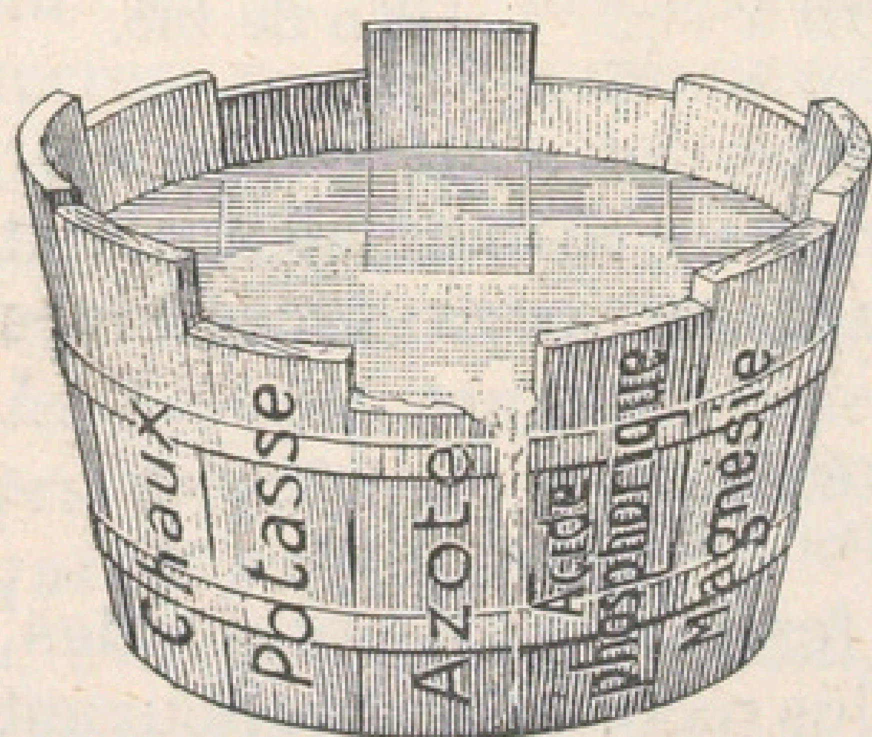


Fig. 37 *bis*. — *Représentation de la loi du minimum (d'après von Doueneck).*

Pratiquement, la récolte de blé sera un peu supérieure à la moitié, mais elle sera pauvre en azote, de mauvaise qualité, et les plantes seront sujettes aux maladies. C'est donc l'élément fertilisant existant dans le sol en moindre quantité, c'est-à-dire au *minimum* qui règle la récolte.

La fig. 37 *bis*, due à von Doueneck, explique bien la loi du minimum : la récolte est figurée par le liquide que contient la cuve ; chaque douve représente un engrais. La récolte, comme on le voit, dépend seulement de la hauteur de la plus petite douve. Les hauteurs supplémentaires des autres douves, c'est-à-dire les quantités supplémentaires d'engrais contenues dans le sol ne jouent aucun rôle pour augmenter le volume d'eau que peut contenir la cuve, c'est-à-dire la récolte. C'est la plus petite douve, c'est-à-dire la plus petite quantité d'engrais, qui règle la récolte.

De la loi du minimum découlent les importantes conséquences suivantes :

1° *L'absence d'un seul élément nutritif dans l'alimentation des plantes paralyse l'action de tous les autres, si abondants qu'on les suppose*; en d'autres termes, *si un élément fertilisant fait défaut, les autres restent à peu près inertes dans le sol, ne servent presque à rien, et la récolte peut être nulle;*

2° *Il suffit de donner à un sol l'élément fertilisant qui y existe en moindre quantité* (au minimum) *pour augmenter les récoltes;*

3° *Le manque d'un élément fertilisant est une cause d'affaiblissement des plantes, de dégénérescence des bonnes races ou variétés* (d'après M. Smetz).

76. La Loi de restitution et les avances d'engrais faites au sol. — *Il est indispensable de restituer à la terre tous les matériaux nutritifs que les récoltes annuelles lui enlèvent* (*loi de restitution*) ; on comprend, en effet, que les récoltes, chaque année, enlèvent au sol une certaine quantité d'azote, d'acide phosphorique, de potasse ; il faut, pour ne pas épuiser ce sol, lui rendre ces matières.

Cette loi, que l'on considérait autrefois comme fondamentale, demande à être discutée et complétée.

En réalité, il n'est pas nécessaire de restituer au sol, d'une manière absolue, *tous* les éléments que les récoltes lui enlèvent. A une terre riche en acide phosphorique, par exemple, il est inutile de fournir des engrais phosphatés, ce serait une dépense inutile ; une terre riche en acide phosphorique est une véritable mine de cet élément, que l'agriculture exploite comme le ferait l'industrie pour une mine de minerais métalliques.

Tant qu'un des éléments fertilisants (azote, potasse, acide phosphorique ou chaux) est fourni en abondance par le sol, il est superflu de l'ajouter dans les fumures. Les fumures ne doivent fournir aux sols que les éléments fertilisants ne se trouvant pas en quantité suffisante dans le sol. *L'engrais doit être le complément du sol.* L'agriculteur, dans la distribution des engrais, doit être guidé à la fois par la richesse du sol en éléments assimilables et par les exigences de la récolte.

Il ne faut pas seulement restituer, il faut aussi faire des avances au sol quand on veut obtenir d'excellentes récoltes. Si, par exemple, une terre n'a de l'acide phosphorique que pour produire 20 hectolitres de blé à l'hectare, alors qu'elle a de l'azote et de la potasse pour produire 30 hectolitres, en n'opérant que la restitution de l'acide phosphorique enlevé par la récolte, on ne peut obtenir qu'un rendement de 20 hectolitres comme auparavant, ainsi que nous l'indique la loi du minimum énoncée

plus haut. Pour obtenir les 30 hectolitres, il faut nécessairement élever la richesse du sol en acide phosphorique au même niveau que celle en potasse, azote, etc., et par conséquent faire un abondant apport d'engrais phosphaté.

Les avances que l'on doit faire consistent à mettre à la dispo, sition des plantes une importante quantité de matières nutritives-qu'elles prendront au fur et à mesure de leurs besoins.

On ne peut évidemment faire au sol des *avances d'azote*, car l'élément azoté, ainsi que nous l'avons vu, n'est pas retenu par le pouvoir absorbant des terres : ce serait faire des dépenses inutiles que de fournir *annuellemment* aux plantes, une quantité d'azote supérieure à celle qui leur est nécessaire pour leur développement pendant l'année. Mais il n'en est pas de même pour l'acide phosphorique insoluble et la potasse (élément fertilisant retenu par le pouvoir absorbant du sol); on peut sans crainte de pertes apporter au sol des quantités importantes d'engrais phosphatés et potassiques.

77. Doses d'engrais à employer. — Nous venons de voir qu'il ne suffit pas de *restituer* au sol les éléments fertilisants enlevés par les récoltes et qu'il est nécessaire de faire des *avances*. Quelle est, *pratiquement*, la quantité *maximum* d'engrais que l'on doit employer?

Il est important de savoir que *les effets des engrais ne sont pas proportionnels à la dose d'engrais employés*. Ainsi, par exemple, il faut proportionnellement beaucoup plus d'engrais pour faire passer la récolte de 30 hectolitres de blé (à l'hectare) à 35 hectolitres que pour la faire passer de 25 à 30 hectolitres. De sorte qu'il arrive un moment où l'excès de récolte ne paye pas le complément d'engrais correspondant que l'on a employé; en d'autres termes il existe pour chaque engrais un maximum d'effets utiles au delà duquel la dépense est supérieure à l'excès de rendement obtenu.

La dose d'engrais à employer ne doit donc pas correspondre à la récolte maximum que l'on peut obtenir, mais bien au bénéfice maximum que peut donner l'emploi de cet engrais.

C'est à l'agriculteur à déterminer ce *bénéfice maximum* par des expériences culturales directes établies comme nous l'indiquons page 218.

CHAPITRE XV

CULTURE CONTINUE D'UNE MÊME PLANTE DANS UN MÊME TERRAIN LA JACHÈRE — LES ASSOLEMENTS

78. Est-il possible de cultiver constamment une même plante dans un même terrain. — La pratique nous répond que non. Évidemment, rien ne s'oppose à la culture continue d'une plante (du moins pour la plupart des végétaux, surtout pour les céréales) si l'on apporte au sol les engrais nécessaires à la conservation de sa fertilité primitive. Mais une telle méthode, outre les difficultés qu'elle présente dans son application, est onéreuse pour le cultivateur, une partie des engrais fournis au sol étant inutilisée. Nous avons fait observer, en effet, que certains végétaux développent le chevelu de leurs radicelles et par conséquent prennent leur nourriture principalement dans les couches *superficielles* du sol: telles sont les céréales et la plupart des herbes des prairies. D'autres, au contraire, développent le chevelu de leurs radicelles et par conséquent prennent leur nourriture principalement dans les couches *profondes* du sol.

Si donc, on cultive des céréales d'une manière continue, les engrais entraînés par les pluies (nitrates) dans les couches profondes du sol seront perdus.

Si, au contraire, on cultive constamment du trèfle ou de la luzerne, c'est aux couches profondes qu'il faudra surtout restituer des éléments fertilisants pour empêcher l'épuisement de la terre. Or, les engrais solides et insolubles resteront plutôt à la partie surperficielle, dans la couche de terre remuée par les labours; les engrais potassiques seront retenus en partie par les propriétés absorbantes du sol et iront assez difficilement dans le sous-sol; les nitrates seuls pénétreront facilement dans les profondeurs du sol, mais l'on sait que les nitrates sont peu nécessaires, puisque les légumineuses fixent directement l'azote libre de l'air.

Par conséquent, dans les deux cas il y aurait perte. L'agriculteur habile doit se préoccuper de faire bénéficier ses récoltes

de la totalité des engrais qu'il met dans le sol, et pour cela pratiquer *l'alternance* des cultures.

D'ailleurs d'autres raisons interviennent en faveur de *l'alternance* : lorsqu'une même culture occupe le sol sans interruption pendant un grand nombre d'années, les plantes adventices ou parasites, les animaux nuisibles, que le même milieu nécessaire à leur développement favorise constamment, se multiplient à l'excès et affaiblissent fortement les récoltes. Ce n'est qu'en alternant les cultures que ces végétaux et plantes parasites, ne trouvant plus leur nourriture habituelle, disparaissent. Quant aux plantes adventices que l'on appelle encore *plantes salissantes*, elles disparaissent grâce à des soins de culture, ou parce qu'elles sont étouffées par une végétation qui ne s'accomplit plus aux mêmes époques.

Les rendements d'une terre qui porte constamment la même plante diminuent peu à peu ; on attribuait autrefois ce fait à l'affaiblissement du sol fatigué de produire. Pour rendre à la terre ses forces on lui donnait un repos réparateur, on la mettait en ***jachère*** : après une récolte de froment, par exemple, on laissait le champ inactif pendant une année; on employait ce temps à le labourer et à lui incorporer du fumier.

La jachère permettait la destruction des plantes adventices, elle favorisait, par les labours qui l'accompagnaient et par le manque de plantes, l'approvisionnement d'eau du sol, elle favorisait également la formation des nitrates par l'aération du sol et le maintient de l'humidité[1]. Mais cet avantage disparaissait devant l'inconvénient de la perte d'une récolte. « La jachère, très utile à une époque où les engrais de commerce ne se trouvaient pas sur le marché, où les cultures des plantes sarclées n'exitaient pas, n'a plus sa raison d'être aujourd'hui dans nos contrées de culture intensive. » On sait aujourd'hui que ce repos est rendu parfaitement inutile par l'alternance des cultures fumées d'une façon rationnelle.

La succession des cultures, combinée dans le but d'obtenir du sol les meilleurs résultats possibles sans l'affaiblir, s'appelle ***assolement***. L'ordre de succession porte le nom de *rotation des cultures*. La durée de la rotation est le nombre d'années compris entre deux cultures d'une même plante sur une même parcelle

1. Conditions d'une bonne nitrification. On pourrait croire que les nitrates formes sont entraînés par les eaux de drainage. Le drainage d'été est peu abondant, le plus abondant est celui d'automne. Or, ainsi que le fait remarquer très judicieusement M. Déhérain, le blé qui succède à la jachère est, à cette époque, semé, levé, il a émis ses fines racines qui retiennent très bien les nitrates.

ou *sole*. L'assolement est biennal quand la durée de rotation est deux ans; triennal, trois ans; quadriennal, quatre ans, etc.

Le nettoyage du sol envahi par les herbes adventices et parasites, pendant la culture des céréales ou *plantes salissantes*, peut être obtenu en faisant suivre cette culture de celle de plantes sarclées[1] ou *plantes nettoyantes* (pommes de terre, betteraves, maïs, colza, etc).

L'agriculteur a un grand intérêt à introduire dans l'assolement la culture des *plantes améliorantes*, principalement les légumineuses fourragères, qui fixent l'azote de l'air, enrichissent le sol en cet élément.

L'époque des semailles, des cultures d'entretien, de la récolte, variant avec les espèces cultivées, le cultivateur doit combiner ses cultures de telle sorte que les travaux qu'elles nécessitent puissent être effectués avec ordre et toujours à l'époque la plus favorable.

Pour utiliser complètement les fumures, il est nécessaire de faire se succéder des plantes à racines traçantes et des plantes à racines pivotantes d'espèces différentes et n'ayant pas les mêmes besoins. Cette succession est d'ailleurs nécessaire pour la destruction des insectes et des plantes parasites[2]. L'emploi des *engrais chimiques*, dont nous parlerons plus loin, a considérablement élargi le cadre des assolements possibles, tout en permettant à l'agriculteur d'être plus libre dans l'observation des règles étroites qu'il était obligé de suivre autrefois.

---

1. Les pieds des plantes sarclées sont assez espacés, pour que l'agriculteur puisse, plusieurs fois dans l'année, enlever les mauvaises herbes.

2. Quelques types d'assolement :

Assolement triennal.

1re année.	Betterave à sucre, ou colza (sole fumée).
2e —	Froment.
3e —	Avoine.

Assolement triennal flamand.

1re année.	Plante sarclée fumée.
2e —	Céreale.
3e —	Plante fourragère (trèfle, etc.).

Assolement de 4 ans, dit de Norfolk.

1re année.	Turneps.
2e —	Orge.
3e —	Trèfle.
4e —	Froment.

Assolement de 7 ans, de Grignon.

1re année.	Plante sarclée fumée.
2e —	Céréale.
3e —	Trèfle.
4e —	Froment.
5e année.	Fourrage vert.
6e —	Colza fumé.
7e —	Froment

CHAPITRE XVI

LE FUMIER

« Le fumier, dit M. Déhérain, est employé comme engrais depuis un temps immémorial, et pendant des siècles a seul été utilisé pour fertiliser la terre; aujourd'hui même, malgré les progrès qu'a réalisés l'agronomie, nombre d'exploitations n'utilisent que le fumier, et dans celles qui achètent des engrais de commerce, il reste la plus importante des matières fertilisantes. »

Le fumier est constitué par le mélange des *déjections* d'animaux domestiques avec les matières qui forment les *litières*.

79. Déjection des animaux. — Les déjections varient en poids et en composition avec le régime auquel sont soumis les animaux. Nous ne donnerons que des moyennes.

La composition moyenne des déjections solides et liquides des principaux animaux domestiques est la suivante[1] :

		Cheval.	Vache.	Mouton.	Porc.
Urines (pour 1000 parties).	Azote	15,21	20,50	13	2,5
	Acide phosphorique	traces	traces	traces	traces
	Potasse	9,24	13,60	17	3 à 5
Excréments pour 1000 parties).	Azote	5,58	4,35	7,2	7
	Acide phosphorique	3,50	1,20	4,5	8,1
	Potasse	1,00	0,42	1,8	0,2

Ce tableau montre que la totalité de l'acide phosphorique se trouve dans les déjections solides, alors que la plus grande partie de la potasse se trouve dans les déjections liquides. Les déjections liquides, ainsi que les déjections solides, sont riches en azote.

On comprend dès lors *l'importance qu'il y a à ne pas laisser perdre les urines rejetées par les animaux, soit par insuffisance de litière, soit par absence d'une fosse à purin, soit par une construction défectueuse des ruisseaux qui amènent ce purin*; *on*

---

1. Pour le cheval et la vache, d'après MM. Audoynaud et Zacharewicz, qui ont joint leurs propres observations à celles de eurs devanciers.

Pour le mouton et le porc, d'après la moyenne de différents expérimentateurs.

voit également tout l'intérêt qu'a le cultivateur à diriger ces urines vers le tas de fumier.

80. Litières. — Les litières remplissent un double rôle : 1° elles servent au couchage des animaux ; 2° elles absorbent la plus grande partie des urines émises par les animaux.

Elles sont constituées par des matières végétales, pailles ou déchets de récoltes impropres à l'alimentation, plantes des forêts et des landes (genêts, fougères, etc.), débris végétaux divers (feuilles mortes, tourbes, sciures de bois, tannée.)

Nous ne parlerons pas des plantes des forêts (genêts, fougères), des feuilles mortes. Ces matières ne permettent pas de faire ce que l'on peut appeler une bonne litière. Nous ne voulons pas dire cependant qu'on ne doive pas les employer, car l'agriculteur n'a pas toujours le choix ; il ne peut consacrer à la litière qu'une faible partie de ses ressources, il est donc forcé de la prendre là où il la trouve avec le moins de dépense possible. Il y a même des régions où elle fait entièrement défaut, au grand préjudice de l'état des animaux et de la production du fumier. Dans ce cas, on la remplace quelquefois par de la terre ou du sable.

Nous ne considérerons que la paille, les balles de céréales, la sciure de bois et la tourbe.

La *composition de ces différentes litières* est la suivante :

	Azote pour 100.	Acide phosphorique pour 100.	Potasse pour 100.
Paille de blé.	0,48	0,23	0,49
Paille de seigle. . . .	0,40	0,25	0,80
Balle de froment. . .	0,72	0,40	0,84
Balle d'avoine	0,64	0,20	0,50
Sciure de bois. . . .	0,2 à 0,7	0,3	0,74 (de sapin).
Tourbe.	0,6 à 2,5	0,03 à 1	0,01 à 0,7

Nous voyons que la litière de paille n'apporte pas au sol une grande quantité de matières fertilisantes. Ainsi, admettons qu'on donne de 3 à 5 kilogrammes de litière de paille par tête de gros bétail dans les vingt-quatre heures ; en prenant la moyenne de de 4 kilogrammes, on obtient un poids de 1500 kilogrammes par an, qui apporte au sol en matières fertilisantes :

Azote.	6 à 7	kilogrammes.
Acide phosphorique.	2 à 4	—
Potasse.	7 à 15	—

Les *balles de céréales* sont plus riches en azote que les différentes pailles et contiennent à peu près les mêmes quantités d'acide phosphorique et de potasse.

La *sciure de bois*, qui s'accumule dans les scieries au point de les encombrer, peut très bien suppléer aux pailles, elle est aussi riche que ces dernières en potasse et en acide phospho-

rique, plus riche en azote; son pouvoir absorbant pour les urines est près de deux fois plus élevé.

La *tourbe*, très riche en azote, mais pauvre en acide phosphorique et en potasse, constitue une excellente litière; son pouvoir absorbant est élevé[1].

Des expériences culturales[2] comparatives, au point de vue des rendements en récoltes, ont été faites avec le fumier ordinaire, le fumier de tourbe et le fumier de sciure de bois. Ces expériences ont montré que les fumiers de tourbe et de sciure donnent de meilleurs résultats que le fumier ordinaire.

En résumé, si nous classons au point de vue de la valeur intrinsèque les principales matières employées comme litière, on voit que la tourbe occupe le premier rang, la sciure de bois le deuxième et la paille le troisième rang.

81. Le fumier à l'étable; pertes d'azote. — Les fumiers à l'étable, constitués par les déjections et la litière, ne conservent pas la même composition, ils subissent des transformations que l'agriculteur doit connaître.

Les matières minérales (sels de potasse, phosphates) échappent, en général, à ces transformations. Il n'en est pas de même des matières organiques azotées.

L'urine, en effet, nous l'avons vu (voir *Chimie générale*, p. 247) contient de l'urée; elle contient également de l'acide urique, de l'acide hippurique, etc., qui, sous l'influence de micro-organismes, se transforment en carbonate d'ammonium, appelé encore carbonate d'ammoniaque. *L'urée* notamment, sous l'influence d'un ferment, se transforme très rapidement en carbonate d'ammoniaque.

Cette fermentation, que l'on appelle fermentation ammoniacale, a lieu même à basse température.

D'après les expériences de MM. Müntz et Girard, l'urine de vaches, exposée en hiver à une basse température, souvent inférieure à 0 degré pendant décembre et janvier, contenait en ammoniaque au bout de ce temps près du tiers de l'azote qu'elle renfermait au début.

C'est de 20 à 30 degrés que la fermentation se produit avec le plus d'intensité; à cette température, elle peut alors commencer seulement quelques heures après l'émission de l'urine.

Le carbonate d'ammoniaque ne reste pas dans le fumier, malgré sa dissolution dans les déjections liquides, il disparaît, se dégage, causant ainsi une perte d'azote très sensible que

---

1. La tourbe est très employée dans les écuries de la Compagnie des omnibus à Paris.

2. Expériences de MM. Müntz et Lavalard, dans la plaine de Vincennes.

l'agriculteur a le plus grand intérêt à éviter, ainsi que le montre l'expérience suivante (fig. 38) :

Expérience. — Dans deux pots contenant de la terre, on sème du ray-grass Quand l'herbe a poussé de 5 à 6 centimètres on la coupe avec des ciseaux.

Dans l'un des pots, on amène les produits gazeux qui s'échappent du fumier et du purin frais que l'on a introduits dans un flacon. L'herbe de ce pot, au bout de quelque temps, prend un plus grand développement que celle de l'autre pot, surtout si la terre employée est relativement pauvre en azote.

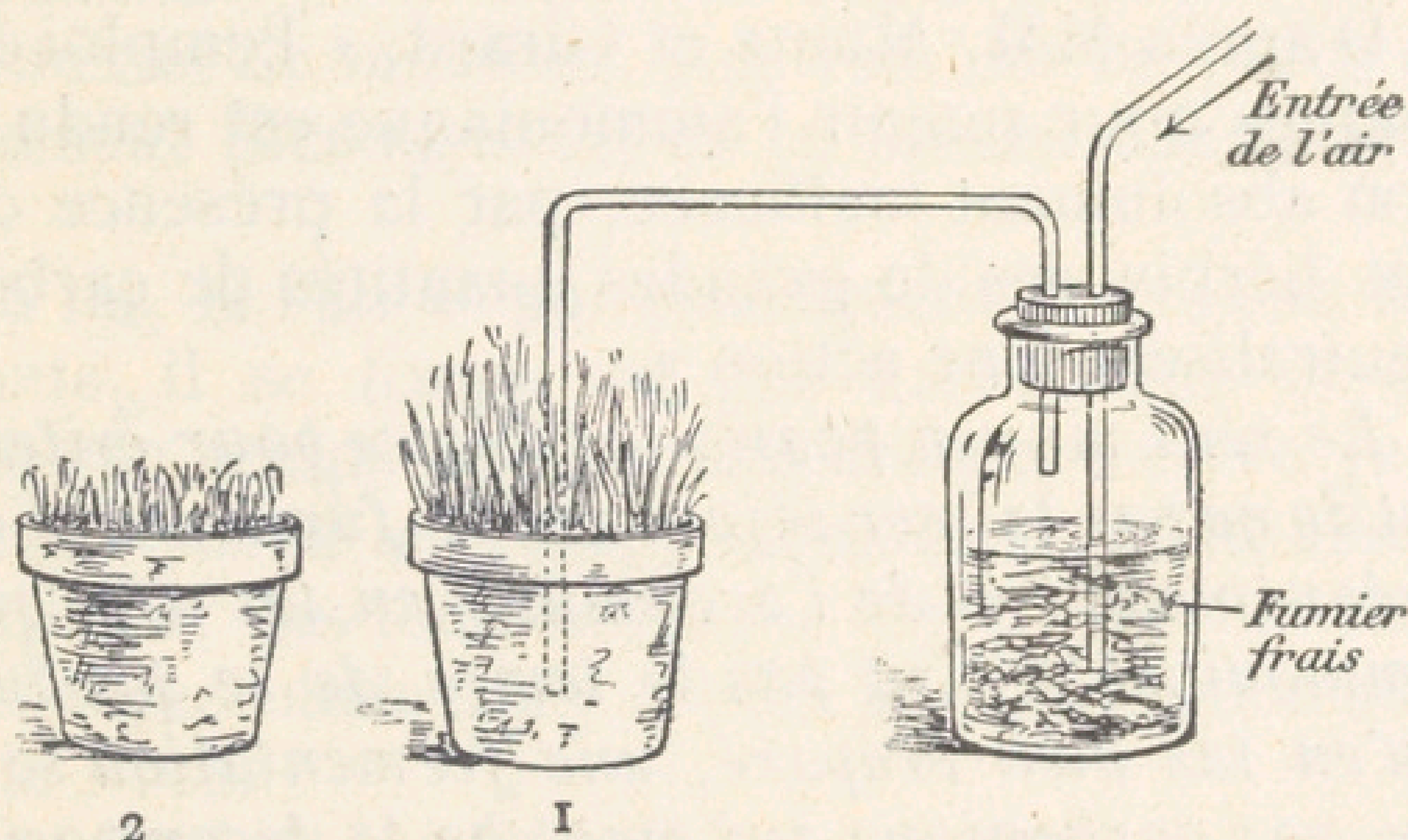


Fig. 38. — Expérience montrant l'importance des pertes d'azote du fumier exposé a l'air dans les étables ou dehors.

1. *Pot recevant les produits gazeuz azotés.*
2. *Pot servant de témoin.*

Avec un soufflet, on souffle de temps à autre dans le flacon pour que le fumier soit comme exposé à l'air.

On sent facilement l'odeur de l'ammoniaque dans les écuries mal tenues.

Ce n'est pas la volatilité du carbonate d'ammoniaque qui détermine sa disparition, comme on l'a cru pendant longtemps; c'est sa décomposition (*dissociation*) *en gaz carbonique et en ammoniaque :* une dissolution de carbonate d'ammoniaque exposée à l'air perd d'abord son acide carbonique, puis son ammoniaque. *C'est le départ de l'acide carbonique qui permet celui de l'ammoniac* (voir Expérience de Déhérain, *Chimie générale*, p. 129).

Comment on évite la perte d'azote du fumier à l'étable. Si à *l'étable* on pouvait empêcher le départ du gaz carbonique en plaçant le carbonate d'ammoniaque dans une atmosphère de ce gaz, comme dans les expériences de Déhérain, on empêcherait en même temps le départ de l'ammoniaque. Malheureusement ce n'est pas possible.

On a préconisé souvent certaines substances à répandre sur le tas de fumier à l'étable pour éviter ces pertes d'azote :

Le *plâtre* ou sulfate de calcium ; les expériences de MM. Müntz et Girard ont montré que ce corps n'a qu'une faible efficacité pour retenir l'ammoniaque qui se dégage des urines. Le plâtre

employé dans les étables n'a pas donné de résultats bien sensibles.

La *kaïnite*, sel brut de potasse (voir p. 183), pas plus que le plâtre, ne donnent des résultats satisfaisants.

Le sulfate de fer, *la chaux* ne sont pas à conseiller.

D'après MM. Müntz et Girard, « l'emploi des substances chimiques pour retenir l'ammoniaque est rendu peu praticable, si non absolument inefficace, par la présence dans les déjections des herbivores de grandes quantités de carbonates alcalins qui neutralisent leur action ».

Le seul moyen pratique efficace pour éviter les pertes d'azote est de ne pas laisser séjourner le fumier à l'étable, de l'enlever fréquemment et de l'accumuler en tas afin que la fermentation ammoniacale n'ait pas le temps de se produire. Nous verrons qu'en tas bien préparé, une fermentation se produit dégageant du gaz carbonique qui empêche la décomposition du carbonate d'ammoniaque et par conséquent les pertes d'azote.

Si les urines sont mal retenues par des litières insuffisantes, il ne faut pas les laisser séjourner dans les rigoles, où l'urée se décomposerait rapidement; il faut laver à grande eau de manière à les envoyer dans la fosse à purin où, comme nous le verrons, les fermentations sont assez actives pour former une atmosphère de gaz carbonique empêchant la déperdition de l'ammoniaque. « On a souvent l'habitude, dit M. Déhérain, de ne curer les bergeries que tous les mois. Quand on pénètre dans une bergerie et qu'on y perçoit l'odeur de l'ammoniaque, c'est qu'on opère mal. On subit des pertes notables d'azote et on maintient les animaux dans une atmosphère nuisible à leur santé. Il faut alors curer la bergerie plus souvent qu'on ne l'a fait jusqu'alors ».

82. Le fumier en tas. — Nous venons de voir que le seul moyen pratique d'éviter les pertes d'azote que l'on constate dans les étables est de mettre le fumier en tas.

D'après les expériences de Vœlcker, en effet, un tas de fumier exposé à l'air libre, à la pluie, perd au bout d'un an environ 30 pour 100 d'azote; étalé en couche mince à l'air libre, la perte s'élève à 64 pour 100, près des deux tiers de l'azote qu'avait le fumier au début.

Dans le fumier en tas, il n'y a pas de perte d'azote, à une condition, c'est que *les fermentations soient assez énergiques pour qu'il y ait formation d'une grande quantité de gaz carbonique.*

Quelles sont ces fermentations, comment se produisent-elles; comment se forme la matière humique, si importante pour les terres et qui caractérise les fumiers?

Le fumier que l'on vient de mettre en tas contient une cer-

taine quantité d'air. Sous l'action de microbes spéciaux vivant au contact de l'air (ferments aérobies), il s'établit dans toute la masse une fermentation accompagnée d'une élévation de température qui peut atteindre 70 et même 80 degrés, surtout dans les fumiers de chevaux et de moutons. Les fumiers de porcs et de vaches, généralement plus aqueux, en se tassant davantage, s'échauffent moins.

Au début, dans le tas, si l'air et par conséquent l'oxygène est en quantité suffisante, il se forme du gaz carbonique et de l'ammoniaque, en même temps que la température s'élève jusqu'à 50 ou 55 degrés. Quand les combustions deviennent assez énergiques pour dépasser ces températures, il y a toujours formation de gaz carbonique, mais il n'y a plus dégagement d'ammoniaque ou d'azote libre.

Lorsque l'oxygène de l'air a été en partie absorbé, une autre fermentation donnant d'autres produits se déclare sous l'action de microbes vivant à l'abri de l'air (fermentation anaérobie) : il y a formation d'un carbure, le *gaz des marais*[1], de *gaz carbonique* et d'eau. La production du gaz des marais peut s'élever à 100 mètres cubes pour 1 mètre cube de fumier. Il n'y a pas de dégagement d'ammoniaque.

En même temps, la substance végétale de la paille se désagrège, se transforme en substances brunes ou *matières humiques* que l'on appelle quelquefois *beurre noir*. Étant acides, ces matières (que nous avons étudiées, p. 51) fixent l'ammoniaque.

Les deux fermentations *aérobie* (au contact de l'air) et *anaérobie* (à l'abri de l'air) se produisent dans les différentes parties du tas suivant que ces parties contiennent ou ne contiennent pas d'air; on conçoit que la fermentation aérobie se produise par exemple vers la surface, pendant qu'à l'intérieur du tas, il se fait la fermentation anaérobie.

Pertes d'azote. — *Les fermentations sont actives, et par conséquent les températures élevées, si le fumier est arrosé avec le purin* qui est un liquide alcalin[2] : grâce à cette alcalinité et à l'humidité, il y a un dégagement important de gaz carbonique. Or, nous savons que dans une atmosphère de ce gaz, le carbonate d'ammoniaque ne se décompose pas, et il n'y a pas de perte d'ammoniaque, c'est-à-dire pas de perte d'azote.

Si, au contraire, le fumier est trop sec, si on ne l'arrose pas

---

1. Appelé encore formène, méthane (voir *Chimie générale*, p. 184).
2. Les liquides du fumier constituant le purin ont jusqu'à 10 pour 100 de carbonates de potasse et d'ammoniaque.

avec du purin, la fermentation se ralentit, le dégagement de gaz carbonique diminue, le gaz des marais se forme accompagné d'hydrogène libre et aussi d'une certaine quantité d'azote gazeux. Le gaz carbonique étant en quantité insuffisante, le carbonate d'ammoniaque se décompose et l'ammoniaque se dégage. *Donc, dans ce cas, double perte pour le cultivateur : perte d'azote libre, perte d'azote sous forme d'ammoniaque.* Ce sont ces pertes que l'on constate lorsque les tas de fumiers sont laissés à l'action desséchante du vent et du soleil, sans arrosages.

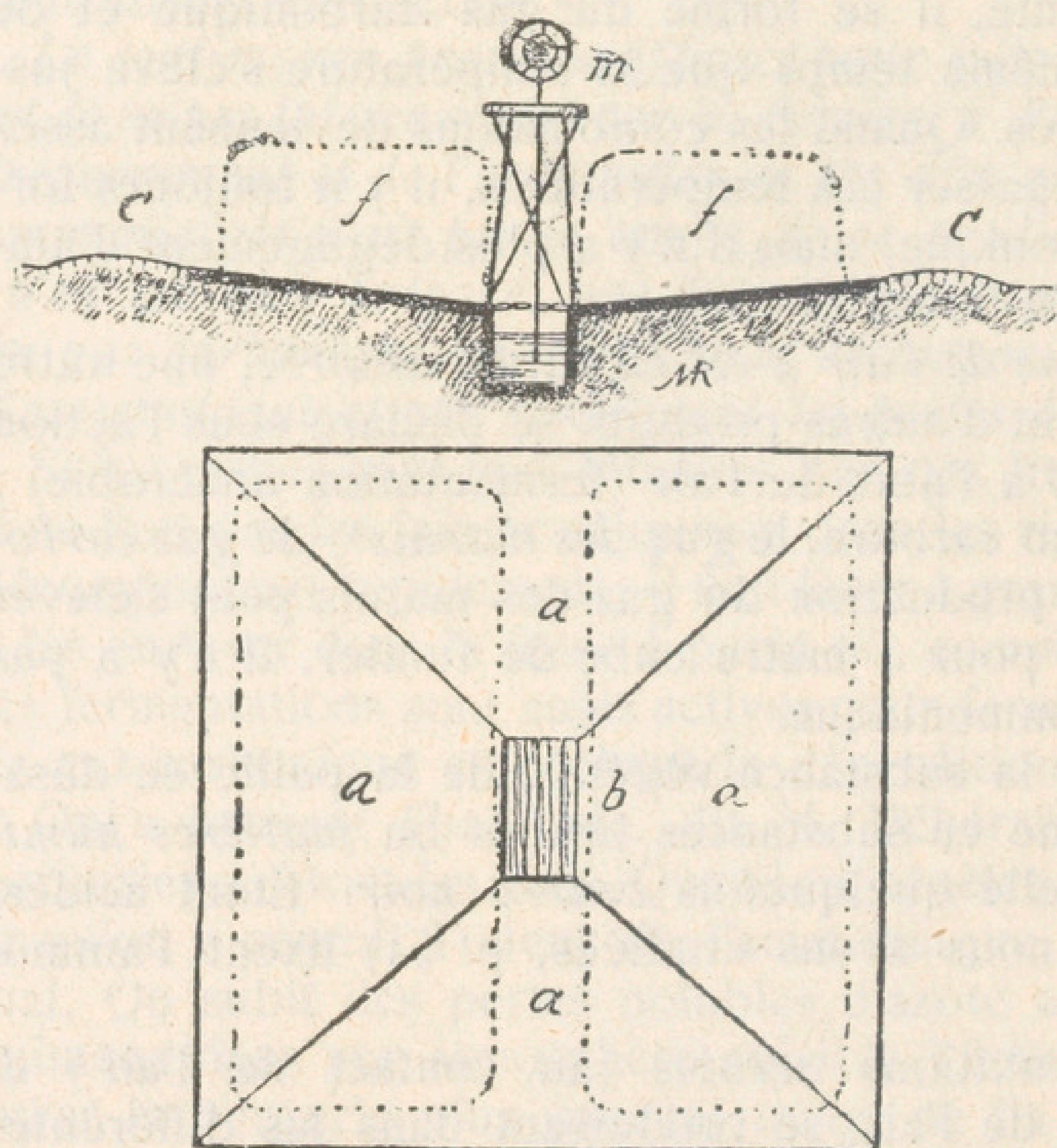


Fig. 39. — Plate-forme a fumier (Plan et coupe verticale).

L'aire concave où l'on place le fumier est formé de 4 plans inclinés a *qui se raccordent avec la citerne centrale* b, *surmontée de la pompe* M; *les tas de fumier sont en* f; *tout autour de la plate-forme est un chemin* m *suffisamment bombé pour les éloigner des eaux de pluies.*

Le fumier est quelquefois envahi par un champignon, connu sous le nom de *blanc de fumier* ou de *chancissure*, brûlant la matière organiqxe et occasionnant une perte d'azote. Ces champignons disparaissent dès que les fermentations sont plus actives et qu'elles utilisent tout l'oxygène qui pénétre dans la masse du fumier ; il suffit donc pour les détruire de faire des arrosages fréquents de purin qui activent ces fermentations et font disparaitre l'oxygène de l'air existant dans le tas de fumier.

Action dénitrifiante du fumier. — Un agronome allemand, Wagner, a constaté que la paille et le fumier de ferme contiennent en abondance des microbes capables de décomposer les nitrates et de laisser dégager de l'azote libre et du protoxyde d'azote. Il déduisait de ces expériences que le fumier de ferme incorporé à la terre y détruit les nitrates si utiles aux plantes, au détriment de la fertilité du sol ; aussi proposait-il de traiter les fumiers par l'acide sulfurique pour détruire ces microbes. Comme le fait remarquer Déhérain, cette pratique est mauvaise, parce que l'acide sulfurique supprimerait la fermentation dans le tas ; d'ailleurs, l'action dénitrifiante n'est appréciable, que lorsque les doses de fumier de ferme sont très élevées et que le sol est mal aéré, ce qui n'a pas lieu dans la pratique.

Comment on évite les pertes d'azote; soins à donner au fumier. — De ce qui précède, on déduit facilement que pour éviter les pertes d'azote *il suffit d'entretenir dans le tas de fumier des fermentations actives*, donnant un dégagement important de gaz carbonique. Pour que ces fermentations soient actives, il faut que le fumier soit bien tassé et arrosé avec du purin.

Les soins à donner au fumier sont donc les suivants :

1° *Enlever fréquemment, tous les jours par exemple, les litières salies et les conduire à la plate-forme.*

2° *Bien entasser le fumier sur une plate-forme imperméable* (cimentée ou pavée), entourée de rigoles destinées à recueillir tout le purin qui s'en échappe. La plate-forme doit présenter une pente légère pour permettre l'écoulement facile du purin vers une fosse cimentée qui le recueille (fosse à purin); une pompe fixe permet de remonter le purin sur la surface du tas, afin d'y entretenir l'humidité nécessaire (fig. 39).

Le fumier est disposé régulièrement par assises successives; on égalise la surface à la fourche et *on arrose fréquemment avec le purin.*

Toutes les fois que la température de la masse du fumier est élevée, c'est que la combustion produite par les ferments est active, et qu'il se dégage du gaz carbonique. Or, nous savons que c'est le gaz carbonique qui empêche la déperdition de l'ammoniaque.

3° *Ne jamais laisser les urines non absorbées par les litières séjourner dans les rigoles, mais les entraîner par des lavages jusqu'à la fosse à purin;*

4° *Le purin, étant très chargé de gaz carbonique, peut être versé sans crainte de perte sur le fumier;* son exposition à l'air n'entraîne aucune perte d'ammoniaque.

Le purin, en effet, comme l'a démontré Déhérain, ne perd pas d'ammoniaque, même lorsqu'il est agité pendant plusieurs jours par un courant d'air; celui-ci entraîne du gaz carbonique, mais pas d'ammoniaque. En analysant le purin, avant et après le passage de l'air, on trouve que la proportion d'azote est restée invariable, tandis qu'au contraire, la quantité de gaz carbonique a augmenté. C'est que la matière organique contenue dans le purin se brûle constamment et le gaz carbonique produit empêche absolument le dégagement de l'ammoniaque; il n'y a donc pas de perte d'azote.

Remarque. — Pour empêcher les pertes d'azote, lorsque le fumier est en tas, un grand nombre d'agronomes ont recommandé d'incorporer au fumier *du plâtre, du sulfate de fer, de la kaïnite ou du superphosphate de chaux.* Toutes ces matières sont plutôt nuisibles en diminuant l'alcalinité de la masse et par suite l'action des ferments; dans tous les cas, elles sont inutiles, puisqu'il suffit d'activer les fermentations par des arrosages pour avoir du gaz carbonique empêchant les pertes d'ammoniaque.

83. Composition du fumier. — Les fermentations qui ont lieu dans le tas de fumier changent le fumier frais en fumier dit *consommé.*

De la disparition de certains gaz et de la vapeur d'eau dans les fermentations du fumier (gaz carbonique, gaz des marais, etc.), il résulte une concentration des éléments fertilisants, azote, acide phosphorique, potasse dans le fumier consommé; le poids de la masse diminue beaucoup, de près de la moitié et même de la moitié au bout de quatre à cinq mois.

Voici, d'après des expériences de MM. Müntz et Girard, la composition de fumiers *frais* et de fumiers *consommés*, au bout de six mois.

	Fumier de vache (pour 100 kg.).		Fumier de mouton (pour 100 kg.).	
	A l'origine.	Après 6 mois.	A l'origine.	Après 6 mois
Eau.	56,10	54,00	67,30	58,31
Azote.	0,81	1,00	0,65	0,92
Acide phosphorique. . . .	0,40	0,54	0,62	1,07
Potasse.	1,45	2,00	1,72	2,28

L'azote du fumier frais (azote organique) s'est transformé, dans le fumie consommé, en grande partie (parfois la moitié) en azote ammoniacal soluble dans l'eau plus directement assimilable.

D'après les analyses de Wolf, la composition des fumiers des principaux animaux de la ferme est la suivante :

	Pour 100.			
	Eau.	Azote.	Acide phosphorique.	Potasse.
Fumier de cheval	71,3	0,58	0,28	0,53
Fumier de bêtes à corne. .	77,5	0,34	0,16	0,40
Fumier de mouton.	64,6	0,83	0,23	0,67
Fumier de porc	72,4	0,45	0,19	0,60

Remarquons que le fumier de cheval et le fumier de mouton sont plus riches en azote, en potasse et en acide phosphorique que les deux autres. Ils fermentent également plus rapidement et avec plus d'intensité, on les désigne souvent sous le nom de *fumiers chauds*, alors que les fumiers de vaches et de porc sont appelés *fumiers froids*.

En résumé, 1000 kilogrammes de fumier renferment environ[1] :

4 à 5 kilogrammes d'*azote*.		Le fumier peut être considéré comme un engrais *complet* (renfermant tous les éléments fertilisants).
2 à 3 — d'*acide phosphorique*.		
4 à 5 — de *potasse*.		

1000 litres de purin contiennent environ :

0kg,500 d'azote.	Le purin est surtout un engrais potassique et un peu azoté.
Très peu d'acide phosphorique[2].	
2 kilogrammes de potasse.	

1. D'après l'analyse de seize échantillons de provenances très diverses, pa MM. Müntz et Girard : azote 4kg,7, acide phosphorique 3 kilogrammes potasse 5kg,2.

2. Quantité que l'on peut considérer comme nulle.

Le purin, très chargé de matière organique brunâtre, a une forte réaction alcaline due à la présence du carbonate de potasse et surtout du carbonate d'ammoniaque.

Aussi, quand on veut l'employer en arrosage dans les prairies, est-on obligé de l'étendre de quatre à cinq fois son volume d'eau afin qu'il ne brûle pas les plantes.

Étant donné le rôle important que joue le purin dans la bonne fabrication du fumier, on peut dire qu'il est bien plus avantageux d'incorporer le purin au fumier par des arrosages fréquents que de le répandre séparément dans les terres.

84. Emploi du fumier. — Les quantités de fumier fournies au sol varient suivant les cultures; en général, par hectare, une bonne fumure est de 30 000 kilogrammes; dans le Nord, cependant, les fumures atteignent 50 000 kilogrammes.

Les agriculteurs ont souvent le tort de n'enfouir le fumier qu'après l'avoir laissé en petits tas à la surface du champ pendant un temps plus ou moins long : les parties solubles du fumier pénètrent dans le sol en le fumant à cet endroit trop énergiquement aux dépens de la surface restante du champ; de plus, il se produit un dégagement d'ammoniaque. Il faut que l'enfouissement soit presque *immédiat*.

Action du fumier dans les différents sols. — 1° *Dans les terres légères*, les propriétés absorbantes sont faibles, de plus, la nitrification est rapide, l'azote organique du fumier se nitrifie rapidement, de sorte que les eaux de pluies peuvent occasionner des pertes. Aussi les terres légères, sablonneuses, ont-elles la réputation de consommer beaucoup de fumier. Pour éviter le plus possible les pertes, ou plutôt pour les diminuer, il faut donner dans ces terres de faibles fumures à doses répétées.

2° *Dans les terres argileuses*, les propriétés absorbantes sont grandes, la nitrification est lente; les pertes sont peu à craindre. Aussi peut-on leur donner de fortes fumures, même longtemps à l'avance;

3° *Dans les terres calcaires*, la nitrification est plus ou moins rapide suivant le degré de compacité des sols; quand les sols sont ameublis, la nitrification est très rapide et les pertes assez fortes. Ainsi dit-on de certaines terres calcaires « qu'elles dévorent les fumiers ». Comme pour les terres légères, il faut leur donner des fumures faibles et à doses répétées.

4° *Dans les terres acides*, dans certaines terres de terrains granitiques manquant de calcaire (terres de landes, de bruyères), dans les terres tourbeuses, la nitrification ne se faisant pas, le fumier ne produit presque aucun effet, si l'on n'a pas soin d'apporter de la chaux au sol (voir Chaulage p. 192).

CHAPITRE XVII

ENGRAIS ORGANIQUES DIVERS

Les engrais d'origine organique, ainsi que leur nom l'indique, sont fournis par les *végétaux* et les *animaux*. On peut donc les classer à côté du fumier.

85. I. **Engrais d'origine animale.** — 1° ***Déjections humaines.*** — Elles constituent un engrais puissant.

D'après la moyenne des analyses d'un grand nombre d'auteurs, la quantité des déjections, ainsi que leur composition par individu et par an, est la suivante :

	Déjections solides. Kg.	Déjections liquides. Kg.	Ensemble. Kg.
Quantité	48,50	438,00	486,50
Matières fixes	11,00	23,30	34,40
Azote	0,80	4,40	5,20
Acide phosphorique	0,60	0,66	1,26
Potasse	0,26	0,81	1,07

Ces quantités équivalent à 1100 ou 1200 kilogrammes de fumier de ferme. Il faudrait donc trente personnes seulement pour fumer 1 hectare de terre comme le ferait une bonne fumure de 35 000 kilogrammes de fumier.

D'après M. Garola, la production de matières fécales pour 38 millions de Français s'élève, en chiffres ronds, aux quantités suivantes :

Excréments mixtes. . . . . 14.261.400 tonnes.

dont 132,500 tonnes d'azote et 74,000 tonnes de phosphates dans les fosses d'aisances ; il y a toujours perte d'une partie de l'azote par la fermentation, de sorte que l'on peut ramener le poids de l'azote utilisable à 100.000 tonnes. En admettant le prix de 1 fr. 50 le kg. pour la valeur de cet azote, nous avous là une valeur de 150 millions de francs. En estimant les phosphates à 0 fr. 19 le kg., il faut ajouter de ce chef à la première évaluation 14 millions. Il y a donc là une source énorme d'engrais que la négligence des agriculteurs laisse inutilisée en partie.

Les déjections humaines sont employées de deux manières :
1° *A l'état frais*, constituant l'*engrais flamand*;
2° *A l'état sec*, sous forme de *poudrette*.

Engrais flamand. — Il porte ce nom parce qu'il est très employé dans les Flandres; les cultivateurs achètent le contenu

des fosses d'aisances des villes et accumulent ces matières dans de grandes citernes pour les employer à l'état frais.

Sa composition moyenne est la suivante[1] (pour 100) :

Eau	97,40
Matières minérales	1,11
Azote	0,43
Acide phosphorique	0,19
Potasse	0,24

Pour éviter la mauvaise odeur de cet engrais on ajoute 3 kilos de sulfate de fer par 1000 kilos de matières de vidange; on ajoute aussi de la tourbe (*Chimie générale*, p. 86).

L'engrais flamand a une action très rapide; il est utilisé par les plantes dès la première année.

Poudrette. — Les matières fécales sont envoyées dans de grands bassins où les matières solides se déposent. Les liquides qui surnagent constituent les eaux vannes utilisées dans la préparation du sulfate d'ammoniaque (*Chimie générale*, p. 128).

Les matières noires qui se déposent sont extraites puis desséchées; elles constituent la *poudrette* contenant environ (pour 100) :

1,5 d'azote.
2 à 3 d'acide phosphorique. } La potasse et l'ammoniaque restent dans les eaux vannes.

Sa composition est très variable. La poudrette a une action énergique, mais de peu de durée; on l'emploie à la dose de 2000 kilogrammes à l'hectare;

2° Les ***guanos***, très employés autrefois, peuvent être considérés comme provenant de l'accumulation séculaire des excréments d'oiseaux marins vivant sur les côtes. Les meilleurs gisements de guanos sont épuisés. Les produits actuellement dans le commerce présentent la composition suivante : Azote, 4 à 7 pour 100; acide phosphorique, 14 à 22,5 pour 100.

Ces guanos sont souvent falsifiés; il ne faut les acheter que sur analyse;

3° ***La colombine et poulaite.*** — La colombine est formée par les excréments des pigeons mêlés aux débris de plumes et de graines des colombiers. Un pigeon donne en moyenne 8 à 10 litres de cet engrais.

Elle contient 2 à 6 pour 100 d'azote, 1,50 à 2 d'acide phosphorique et 1 à 2 pour 100 de potasse.

La *poulaite* est fournie par la fiente des poules; elle est un peu moins riche que la colombine.

4° ***Engrais de poisson.*** — C'est un engrais excellent fabriqué avec les débris de poissons des pêcheries et avec les poissons

1. D'après Wolff.

non comestibles; on le débarrasse des matières grasses huileuses qui l'accompagnent. Il contient généralement de 4 à 12 pour 100 d'azote et 7,5 à 12 pour 100 d'acide phosphorique. On l'emploie dans les terres sablonneuses à la dose de 400 à 500 kilogrammes par hectare.

86. II. **Engrais d'origine végétale. — Engrais verts.** — Les engrais verts sont constitués par les végétaux enfouis dans le sol en vue de le fertiliser. Ils peuvent : 1° *être cultivés et enfouis sur place*; 2° *être apportés du dehors*.

Engrais verts cultivés et enfouis sur place. — Les plantes qui sont propres à être cultivées pour être enfouies en vert sont celles qui puisent dans l'air l'azote dont elles ont besoin pour se nourrir : telles sont les légumineuses. Elles doivent être enfouies au moment de la floraison pour donner au sol l'azote qu'elles ont pris à l'air et lui restituer les éléments fertilisants qu'elles lui ont empruntés.

La composition des principales plantes utilisées est la suivante (pour 100) :

	Azote.	Acide phosphorique.	Potasse.
Vesces.	0,56	0,13	0,43
Lupins	0,50	0,11	0,15
Trèfle incarnat.	0,43	0,08	0,26
Trèfle rouge.	0,48	0,13	0,44
Colza	0,46	0,12	0,35
Spergules	0,37	0,20	0,47
Sarrasin.	0,39	0,08	0,38

Admettons que la plante cultivée comme engrais vert représente, pour 1 hectare, 3000 kilogrammes de foin de trèfle; la récolte laissera au sol :

63 kilogrammes d'azote.
17 kilogrammes d'acide phosphorique.
18 kilogrammes de potasse.

Les légumineuses employées comme engrais vert, grâce au puissant développement de leurs racines, agissent sur les éléments minéraux du sol et du sous-sol, pour les amener dans leur propre substance à un état de combinaison et de division, les rendant aptes à être ultérieurement assimilés par les récoltes suivantes. Elles ramassent et préparent en quelque sorte les éléments nécessaires aux récoltes futures, mais elles n'apportent rien au sol, sauf l'azote pris à l'air. Il est bon néanmoins de remarquer que ces plantes, après leur enfouissement dans la terre, se décomposent et enrichissent le sol en humus.

Déhérain conseille surtout les engrais verts en *cultures dérobées*. Les *cultures dérobées*, ou *cultures intercalaires*, sont celles que l'on poursuit dans le

court laps de temps qui sépare deux récoltes principales. Lorsque, après une récolte de blé, par exemple, le sol reste inoccupé jusqu'aux semailles de la récolte suivante, la nitrification continue à exercer son action et les nitrates formés, ne pouvant être utilisés par les plantes, sont entraînés par les eaux de pluies. En cultivant une plante à végétation rapide comme engrais vert, l'azote nitrique est retenu, puis transformé en azote organique que les récoltes ultérieures utiliseront.

Les engrais verts ne sont réellement économiques que dans des cas assez rares, lorsque, par exemple, le transport des fumiers est coûteux ou difficile.

Les résidus végétaux, feuilles de betteraves, fanes de pommes de terre, etc., laissés sur le sol au moment de la récolte, constituent un bon engrais vert.

Engrais verts tirés du dehors. — Ce sont de véritables engrais verts, puisqu'ils apportent aux terres dans lesquelles on les met des éléments fertilisants pris ailleurs. On doit les employer toutes les fois qu'ils ne coûtent pas trop cher d'acquisition ou de transport.

Tous les végétaux qui poussent spontanément, tels que fougères, joncs, roseaux, buis, genêts, etc., ainsi que les débris végétaux, tels que sarments pilés, feuilles, etc., sont à employer dans le cas surtout où les litières font défaut pour faire le fumier.

Voici la teneur moyenne (pour 100) en principes fertilisants de quelques matières vertes :

	Azote.	Acide phosphorique.	Potasse.
Bruyères.	0,9	0,10	0,40
Fougères	2,4	0,45	2,42
Genêts.	2,5	0,23	0,80
Roseaux.	1,1	0,12	0,43
Sarments de vignes. . . .	0,42	0,16	0,35

Les plantes marines très abondantes sur les côtes de l'Océan, que l'on désigne sous le nom de *goémons*, de *varechs* sont employées comme engrais. Leur composition est, en moyenne, la suivante (pour 100) :

	Azote.	Acide phosphorique.	Potasse.
Goémons.	1,3 à 1,7	0,35 à 0,45	0,8 à 1,9
Varechs	1,4	0,4	1,6

87. La tourbe (voir *Chimie génér. le*, p. 85), a comme engrais une valeur qui se rapproche de celle des engrais verts. Il est préférable, avant de l'employer, de l'utiliser comme litière. On peut employer la tourbe surtout dans les terrains calcaires, dont elle est en quelque sorte le neutralisateur; il suffit pour comprendre ce rôle de se rappeler le rôle de l'humus. On peut également employer de la tourbe dans la fabrication des composts. Peut-être pourra-t-on l'employer ainsi

que le font prévoir les expériences de MM. Müntz et Lainé (p. 175), dans la fabrication des nitrates.

Tourteaux. — Les *tourteaux* provenant de l'extraction de l'huile des *graines oléagineuses* sont les plus puissants des engrais végétaux. Leur composition est, en moyenne, la suivante (pour 100) :

	Azote.	Acide phosphorique.	Potasse.
Arachides brutes	5,2	0,6	»
Moutarde des champs	4,5	1,8	»
Ricin brut	3,6	1,5	1,1
Ricin décortiqué	6,2	2,2	»
Sésame blanc	6,5	2,6	1,»
Colza	4,9	2,8	1,3
Navette	4,5	1,7	1,4
Cameline	5,4	1,8	»

Ces déchets ne peuvent pas remplacer le fumier, comme on le croit quelquefois; ils agissent surtout par l'azote qu'ils renferment en grande quantité, un peu par leur acide phosphorique et très peu par leur potasse. On les emploie à la dose de 1200 kilogrammes environ par hectare. Très souvent on emploie une dose moindre accompagnée de fumier. Ils se décomposent rapidement dans le sol et sont assez rapidement utilisés par les plantes; leur action est épuisée en deux années.

88. Marcs de raisins. — Les marcs de raisins, lorsqu'ils ont été distillés pour en retirer l'eau-de-vie, après le pressurage, peuvent très bien, s'ils ne sont pas utilisés dans l'alimentation du bétail, être employés comme engrais; ils sont surtout riches en potasse et en acide phosphorique. Leur composition moyenne est la suivante[1] :

	Marcs de raisins frais par 1000 kg.	Marcs de raisins secs par 1000 kg.
Eau	760,0	760,0
Azote	11,1	7,0
Acide phosphorique	2,7	1,3
Potasse	6,7	5,5

La décomposition de ces marcs est lente, aussi peut-on les employer surtout dans les composts (p. 131).

89. Marcs de pommes. — Ils peuvent également être employés comme engrais, s'ils ne sont pas utilisés dans l'alimentation du bétail. Leur composition moyenne (pour 1000) est la suivante :

Eau	de 750 à 800
Azote	de 1,40 à 2,20
Acide phosphorique	de 0,55 à 0,77
Potasse	de 1,55 à 2,50

Ces marcs étant acides, il est bon de les mélanger avec de la chaux ou des scories de déphosphoration, ou encore de les employer dans les composts.

90. Résidus de brasseries. — Les drèches, les touraillons qui ne

1. D'après M. Garola.

sont pas utilisés pour la nourriture du bétail, les marcs de houblons ont leur emploi comme engrais. Leur composition pour 100 est la suivante :

	Drêches.	Touraillons.	Marcs de houblon
Azote	0,8	4,5	0,75
Acide phosphorique.	0,5	1,5	6,40
Potasse	»	2,0	0,10

91. Vinasses de distilleries. — Ces vinasses constituent un engrais liquide surtout riche en potasse. Quand elles sont acides, on les mélange avec du carbonate de chaux ou de la chaux. Leur composition moyenne par mètre cube est la suivante :

	Azote.	Acide phosphorique.	Potasse.
Vinasses de grains.	2kg,5	3kg,5	2kg,6
— de betteraves. . . .	1kg,3	0kg,5	2kg,2
— de pommes de terre.	2kg,»	0kg,6	3kg,0

92. Résidus de féculeries. — On les utilise comme engrais quand on ne peut les faire consommer aux animaux. Ils sont pauvres en éléments fertilisants; ils contiennent en moyenne par tonne : 1kg,3 d'azote; 0kg,3 de potasse; 0kg,5 d'acide phosphorique.

93. Les composts. — Utilisation des résidus à la ferme. — L'agriculteur ne doit pas laisser perdre les résidus d'origine animale ou végétale qui se produisent dans toute exploitation agricole : balayures, suie, déchets de ménage, matières fécales, mauvaises herbes, débris de paille, déchets de boucherie, épluchures de légumes, cadavres d'animaux, etc.

Tous ces résidus ne pourraient servir à fumer directement les sols; il faut leur faire subir une transformation à l'aide de *composts*, dont nous avons déjà parlé p. 74. Les composts sont des mélanges très variés de résidus divers avec de la terre ayant pour but d'augmenter l'assimilabilité des matières fertilisantes de ces résidus : ces derniers sont saupoudrés avec de la chaux éteinte (ou mieux encore mélangés avec de la chaux vive en morceaux); on dispose sur le sol une couche de ce mélange, au-dessus une couche de terre, puis une couche de mélange et, ainsi de suite, jusqu'à une certaine hauteur; le tout doit être maintenu humide par des arrosages.

La chaux favorise la décomposition des matières organiques et leur nitrification : l'azote organique se transforme en azote ammoniacal, puis en azote nitrique. Les composts sont de véritables *nitrières artificielles*. Il ne peut y avoir de pertes d'ammoniaque à cause du pouvoir absorbant de la terre.

Au bout de quelques mois, pour aérer et rendre le mélange plus intime, on recoupe le compost, c'est-à-dire on le divise verticalement avec une bêche pour reformer le tas à côté.

Dans les départements de l'Ouest, on fabrique les composts avec de la terre, du fumier et de la chaux, et on leur donne le nom de *tombes* : à la fin de l'automne, on enlève la terre superficielle des herbages le long des haies, on y ajoute des curures de fossés, des vases de mares, etc., et des morceaux de chaux. Les proportions que l'on emploie pour faire une tombe sont environ les suivantes : pour un mètre cube de chaux il faut environ 4 à 5 mètres cubes de terre et 2 mètres cubes de fumier.

Au bout de quelque temps, on recoupe la masse, et, à la fin de l'hiver, on ajoute du fumier par un nouveau recoupage. Le fumier apporte beaucoup de microbes et leur sert de support. Au lieu de fumier, on peut, ainsi que le montrent les expériences de MM. Müntz et Lainé, employer de la tourbe.

Les composts et les tombes ne contiennent comme éléments fertilisants que ceux qui ont été apportés par les matériaux qui entrent dans leur composition, mais sous une forme beaucoup plus assimilable pour les plantes; ils s'enrichissent cependant en azote grâce à certains microbes qui ont la propriété de fixer l'azote libre de l'air (p. 77).

CHAPITRE XVIII

ENGRAIS CHIMIQUES OU ENGRAIS DE COMMERCE

94. Utilité des engrais chimiques. — La culture des terres peut se faire longtemps avec le fumier de ferme seul, produit dans l'exploitation, sans apport d'autres engrais venus du dehors, mais avec une production restreinte. Le sol cependant s'appauvrit peu à peu quand il ne reçoit pas, sous forme d'engrais complémentaires importés dans le domaine, au moins l'équivalent de ce qui est graduellement enlevé.

Les récoltes, en effet, assimilent une certaine quantité de matières fertilisantes qui appauvrissent le sol d'autant. Une partie de ces matières reste dans le domaine: ce sont en général les pailles, qui servent de litière, et les fourrages qui retournent au fumier. Une autre partie en sort, en emportant avec elle une certaine proportion des éléments fertilisants; tels sont en général les graines ou les produits industriels qui vont au marché. L'exploitation animale exporte également de notables quantités de ces substances; la production laitière, l'élevage, l'engraissement enlèvent encore de l'azote, de l'acide phosphorique, de la potasse. A l'appauvrissement, qui résulte de cette exportation volontaire, s'ajoute celui qui est dû aux déperditions du fumier et aussi des éléments fertilisants du sol entraînés par les eaux de pluie.

Une culture, soutenue uniquement par le fumier que produit la ferme, ne peut donc permettre d'obtenir des rendements élevés, et le sol, loin de gagner par la succession des cultures, marche insensiblement vers l'épuisement de sa fertilité.

Tant que l'agriculture de notre pays n'a pas eu à soutenir la concurrence des contrées plus privilégiées, où une immense étendue de sol vierge fournit avec peu de frais d'abondants produits, elle pouvait se contenter d'exploiter le sol à la manière de nos pères, c'est-à-dire en pratiquant simplement une restitution plus ou moins parfaite à l'aide du fumier de ferme. Mais aujourd'hui, une cruelle expérience a montré qu'il fallait entrer dans une voie nouvelle et tirer d'une même surface de terrain de plus abondantes récoltes qu'autrefois, afin de les

produire à meilleur marché. L'emploi des engrais chimiques a surtout contribué à atteindre ce but ; il a permis de réaliser un progrès énorme : augmentation de la fertilité des terres et des rendements culturaux ; par suite, diminution des prix de revient mise en valeur des terrains peu fertiles.

Les **engrais chimiques,** *que l'on appelle encore* **engrais de commerce,** *sont des substances qui renferment, à l'état de concentration, des éléments fertilisants et qui peuvent être substituées au fumier ou simplement être destinées à compléter son action.* Tels sont : le nitrate de soude pour l'azote, le superphosphate de chaux ou les scories pour l'acide phosphorique, le sulfate ou le chlorure de potassium pour la potasse. Par suite de leur richesse, ces substances sont peu encombrantes et d'un transport peu coûteux. Ainsi, pour remplacer 1000 kilogrammes de fumier de ferme, il faut environ :

10 kilogrammes de phosphate précipité,
10 — de chlorure de potassium,
20 — de nitrate de soude.

Le rôle de l'engrais chimique est de compléter l'apport d'éléments fertilisants fait par le fumier et aussi d'augmenter la richesse du sol.

En effet, le fumier n'est pour ainsi dire que « le reflet du sol ». Si le sol est pauvre, par exemple en acide phosphorique, les plantes produites et par conséquent le fumier sont pauvres également en acide phosphorique. Le fumier n'enrichira donc pas le sol en cet élément et de ce fait les rendements ne pourront augmenter. Seuls les engrais chimiques (les engrais phosphatés dans le cas qui nous occupe) peuvent compléter l'action du fumier et permettre d'obtenir des récoltes plus abondantes.

Quand un seul élément fertilisant est en quantité insuffisante dans le sol, par exemple l'acide phosphorique, le fumier qu'on y apporte donne non seulement cet acide, mais aussi de la potasse et de l'azote, dont certaines plantes, comme les légumineuses, n'ont pas besoin. Les engrais chimiques, au contraire, peuvent fournir au sol seulement l'élément faisant défaut ; on peut donc, grâce à leur emploi, faire dans certains cas une économie sensible.

L'action de la plupart des engrais chimiques est en général beaucoup plus rapide que celle du fumier, et l'agriculteur par conséquent est plus maître de régler leur emploi suivant les besoins de la plante. Enfin, grâce aux engrais chimiques, on n'est plus obligé de suivre aussi étroitement les règles des asso-

lements, puisqu'on peut toujours donner au sol l'élément nécessaire à chaque culture.

Les engrais chimiques peuvent-ils remplacer complètement le fumier? — Certainement non. Nous avons vu, en effet, le rôle important que joue l'humus dans la multiplication des micro-organismes du sol (microbes nitrificateurs, microbes fixateurs d'azote, etc.) ; les travaux de MM. Müntz et Lainé nous ont même montré qu'une terre est d'autant plus chargée d'organismes actifs et plus aptes à entrer en nitrification rapide, qu'elle contient plus d'humus. De plus, il ne faut pas oublier que l'humus sert en quelque sorte de véhicule à certaines matières minérales insolubles, telles que les phosphates par exemple, auxquelles il fait subir une espèce de digestion préalable, pour les mettre à la disposition des plantes. Nous avons vu, également, le rôle considérable que joue l'humus dans les propriétés physiques et dans le pouvoir absorbant du sol : il ameublit les terres trop fortes et donne « du corps » aux terres trop légères; il permet au sol, concurremment avec l'argile, de retenir les éléments fertilisants que les eaux de pluies entraîneraient. Le fumier donne précisément[1] cet élément au sol. N'employer que des engrais chimiques, c'est laisser l'humus disparaître peu à peu du sol.

« Il est vrai, dit Schlœsing, qu'il s'y renouvelle incessamment par la décomposition des produits végétaux que laissent après elles, les récoltes. Mais, d'autre part, il est lui-même détruit par l'effet des combustions lentes et de la nitrification, et la destruction peut l'emporter sur la production. On voit par là le danger exclusif des engrais purement chimiques. » S'ils ne sont pas accompagnés d'engrais organiques, ils peuvent modifier l'état physique du sol, au point de lui enlever des qualités de première importance et de diminuer beaucoup sa fertilité.

Si certaines terres ont pu donner avec les engrais chimiques seuls de bonnes récoltes pendant un grand nombre d'années[2], d'autres, au contraire, ont vu leurs propriétés changer désavantageusement en ne laissant obtenir que des résultats médiocres.

« A Grignon, dit M. Déhérain, j'ai essayé à bien des reprises différentes de cultiver avec des engrais chimiques seuls, sans fumier, j'ai toujours dû y renoncer. Ces engrais chimiques deviennent extrêmement précieux quand ils sont judicieusement employés et qu'on les utilise comme engrais complémentaires concurremment avec le fumier ou les engrais verts. »

C'est l'emploi combiné du fumier de ferme et des engrais chimiques qu'il faut adopter. — *Pour démontrer que l'emploi combiné d'une dose moyenne de fumier de ferme, complétée par des engrais appropriés, est dans*

---

1. Ainsi que les engrais organiques, tourteaux, engrais verts, résidus divers, sang, etc.
2. A Rothamsted, chez MM. Lawes et Gilbert, pour la culture du blé pendant trente ans.

presque tous les cas le moyen le plus sûr d'obtenir de hauts rendements, d'une manière économique, M. Garola a fait une série d'expériences que nous croyons devoir citer :

« Sous le nom de *fumure mixte*, M. Garola désigne dans le tableau ci-dessous l'emploi de 15,000 kilogr. de fumier de ferme seulement par hectare, pour une période de trois ans, fumier qui était complété suivant les besoins de chaque culture, par un apport de superphosphate et de nitrate de soude à doses modérées. La parcelle au fumier seul recevait tous les trois ans, en tête de la rotation et pour la plante sarclée, 30,000 kilogr. de fumier identique au précédent. Enfin les parcelles à engrais complet recevaient pour chaque culture un mélange de superphosphate, de chlorure de potassium et de nitrate de soude, ou bien de sulfate d'ammoniaque à doses élevées.

	Excédents moyens de récolte par hectare.		
	Fumure mixte.	Fumier seul.	Engrais complet.
Blé (grain : 8 récoltes)	830 kgs	770 kgs	710 kgs
Avoine (grain : 10 récoltes)	500 —	355 —	480 —
Prairie artificielle (8 récoltes)	1.330 —	1.720 —	1.445 —
Betterave à sucre	21.700 —	18.400 —	18.160 —
Betterave à graine (2 récoltes)	667 —	477 —	536 —
Pommes de terre	9.250 —	7.900 —	10.500 —
Carrotte fourragère	24.000 —	17.000 —	20.500 —

Il résulte de ce tableau que, pour toutes les récoltes, la fumure mixte a été plus favorable que la fumure exclusive au fumier (sauf pour les prairies artificielles) et que les engrais chimiques (sauf pour les prairies et les pommes de terre).

95. Les différents engrais commerciaux. — Les divers engrais que le commerce fournit au cultivateur peuvent être classés de la manière suivante :

1° ***Les engrais azotés*** comprenant :
- Engrais à *azote organique* : sang, viande desséchée, corne, cuir torréfié, etc.
- Engrais à *azote ammoniacal* : sulfate d'ammoniaque et divers sels ammoniacaux.
- Engrais à *azote nitrique* : nitrate de soude, nitrate de chaux, etc.
- Azote calcique ou chaux azote.

2° ***Les engrais phosphatés.***
- Phosphates naturels.
- Phosphates d'origine animale, phosphates d'os, etc.
- Superphosphates.
- Scories de déphosphoration.
- Phosphates précipités, etc.

3° ***Les engrais potassiques.***
- Chlorure de potassium.
- Sulfate de potassium.
- Kaïnite.
- Carbonate de potassium, etc.

4° ***Les engrais calcaires ou amendements.***
- Chaux.
- Marne.
- Plâtre, etc.

5° ***Substances diverses. Engrais catalytiques.***
- Sels de fer, sel marin, etc.
- Sels de manganèse, soufre, etc.

CHAPITRE XIX

LES ENGRAIS AZOTÉS

96. Comment on reconnaît qu'une terre a besoin d'engrais azoté — 1° ***Par l'analyse chimique.*** — Nous avons vu (p. 67) qu'une terre est considérée comme ayant une richesse alimentaire satisfaisante en azote lorsqu'elle contient 1 gramme d'azote pour 1000 grammes de terre.

Nous avons vu également que l'azote que renferment les terres n'est pas tout entier sous une forme immédiatement assimilable par les plantes. Par conséquent, une terre, d'après l'analyse, peut être très riche en azote et les plantes néanmoins peuvent souffrir d'un manque d'alimentation azotée. Ce cas se produit, en effet, dans les terres de défrichement, de landes ou de bruyères, les terres tourbeuses, les vieilles prairies, etc., qui peuvent contenir de 2 à 10 grammes pour 1000 d'azote : cet azote accumulé ne peut servir que s'il est nitrifié et nous avons vu que la nitrification ne peut se faire qu'à la condition que le sol contienne une proportion de calcaire suffisante.

Il faut donc avec le dosage de l'azote avoir le dosage du calcaire pour déterminer si le sol a besoin d'engrais azoté.

Lorsque l'analyse chimique indique une quantité d'azote faible, c'est-à-dire considérée comme appartenant à une terre pauvre, on est certain que cette terre a besoin d'engrais azoté.

2° ***Par l'aspect des récoltes.*** — Lorsque les céréales, au printemps, ont une coloration jaunâtre, au lieu d'avoir une belle teinte verte, si les feuilles sont chétives on peut dans beaucoup de cas conclure à un manque d'azote. Ces caractères cependant n'ont pas toujours pour cause un manque d'azote; ils peuvent être dus, par exemple, à une humidité trop grande du sol et du sous-sol, par suite à un manque d'aération des racines; ils peuvent être également dus en partie à un manque de potasse (p. 101), etc.

Lorsqu'au contraire la végétation (feuilles et tiges) des céréales est très abondante et quand la *verse* se produit, c'est que la terre est très riche en azote et que l'azote est même en excès.

Ne pas oublier que l'azote, dans une terre pauvre en cet élément, ne produit tout son effet sur les récoltes qu'à la condition que les autres éléments fertilisants (potasse, acide phosphorique, etc.), *soient en quantités suffisantes.*

3° ***Par l'aspect du sol.*** — Les sols riches en azote contiennent une assez forte proportion de matières organiques, d'humus qui donnent aux sols une coloration plus ou moins brune. Exemples: le terreau, les sols de vieilles prairies, les terres tourbeuses, de défrichement, etc. Il est évident que ce moyen empirique n'a quelque valeur que dans les cas extrêmes.

4° ***Par des essais directs de culture.*** — Les poids des récoltes obtenues dans des parcelles ne contenant pas d'engrais et dans d'autres parcelles contenant de l'engrais azoté peuvent montrer par différence l'influence de cet engrais et par suite l'opportunité de son emploi.

Dans ces essais de culture faits comme nous l'indiquons (p. 218), il faut utiliser comme plantes celles qui sont plus particulièrement sensibles à l'apport d'engrais azoté, telles que les céréales.

97. Exigence des récoltes en azote. — Les exportations moyennes d'azote opérées sur un hectare de terre par les différentes récoltes sont les suivantes :

PLANTES CÉRÉALES.

	Rendement à l'hectare.	Azote dans la récolte.
Blé	15 hectolitres.	38
Blé (40 hectolitres)	40 —	102
Orge	25 —	38
Seigle	20 —	40
Maïs	25 —	31,5
Sarrasin	25 —	51,0
Avoine	25 —	41,5

PLANTES INDUSTRIELLES.

	Rendement à l'hectare.	Azote dans la récolte
Colza	16 hectolitres.	64,5
Œillette	18 —	90,0
Lin	20 —	114,0
Houblon	15 —	63,0

RACINES ET TUBERCULES.

	Rendement à l'hectare.	Azote dans la récolte
Carotte	30.000 kilogrammes	114,0
Navet	25.000 —	95,0
Rutabaga	45.000 —	182,5
Betterave fourragère	40.000 —	132,0
— à sucre	30,000 —	84,0
Pomme de terre	18.000 —	78,5
Topinambour	28.000 —	123,5

PLANTES FOURRAGERES.

	Rendement à l'hectare.		Azote dans la récolte.
Prairie	6.000kg	(foin sec)	78,5
Seigle	20.000	(vert)	86
Maïs fourrage	60.000	—	170
Choux fourrage	40.000	(feuilles)	128
Trèfle rouge	8.000	(foin sec)	160
Luzerne	10.000	—	200
Sainfoin	4.500	—	81
Vesce	4.000	—	91

Influence de l'azote sur les céréales. — 1° *Verse.* — Un excès d'engrais azoté, surtout d'engrais azoté rapide comme le nitrate de soude, le sulfate d'ammoniaque, provoque la verse des céréales : les chaumes deviennent moins rigides, la production abondante des feuilles nuit à l'éclairement du pied, et la céréale se couche sur le sol avant la maturité. Aussi ne donne-t-on généralement la fumure azotée qu'aux plantes sarclées précédant la récolte des céréales.

2° *Production foliacée.* — Les engrais azotés, surtout ceux à action rapide, favorisent le développement des parties foliacées de toutes les plantes. Si le sol manque d'acide phosphorique et que l'azote soit en grande quantité, on constate, pour les récoltes de céréales par exemple, beaucoup de paille et peu de grains. Aussi les cultivateurs disent quelquefois que les engrais azotés « poussent à la paille ». Une certaine quantité d'acide phosphorique est alors nécessaire pour la production du grain : « l'acide phosphorique est le correctif de l'azote ».

Influence de l'azote sur la maturité. — Lorsque les engrais azotés sont employés trop tardivement, ils favorisent la formation, chez les plantes, de nouvelles feuilles et de nouvelles pousses vertes en retardant la maturité. C'est ainsi que les grains de céréales ne sont pas encore complètement mûrs lorsque les grandes sécheresses arrivent, ils se dessèchent ; cet accident porte le nom *d'échaudage*. On a remarqué aussi que les blés qui restent longtemps verts après la floraison, par suite de l'emploi tardif d'engrais azotés, sont attaqués plus facilement par un champignon, la *rouille* : ce champignon pénètre d'abord dans les feuilles, puis dans la tige et enfin dans les épillets dont les grains ne peuvent ensuite pas mûrir.

98. Les différents engrais azotés employés. — Les principaux engrais azotés que l'on emploie en agriculture sont :

Engrais azotes à ***azote organique.***	***Sang***	Sang à l'état frais, contenant 3 p. 100 d'azote.
		Sang desséché, contenant 10 à 13 p. 100 d'azote.
	Viande desséchée	: contenant 9 à 11 pour 100 d'azote.
	Matières cornées.	Râpure de corne, 10 à 11 p. 100 d'azote.
		Raclure de sabot, 12 à 13 —
		Frisure de corne, 14 à 15 —
	Déchets de cuirs	: 7 à 9 pour 100 d'azote.
	Déchets de laine	: 3 à 4 —
	Tourteaux (voir page 130).	
Engrais azotés à ***azote ammoniacal.***	***Sulfate d'ammoniaque.***	
	Chlorhydrate d'ammoniaque.	
	Nitrate d'ammoniaque.	
	Phosphate d'ammoniaque.	
	Crud ammoniac.	
	Eaux ammoniacales des usines à gaz.	
Engrais azotés à ***azote nitrique.***	***Nitrate de soude.***	
	Nitrate de potasse.	
	Nitrate de chaux.	
Azote calcique ou *chaux-azote.*		

I. — ENGRAIS AZOTÉS A AZOTE ORGANIQUE

Dans les engrais à azote organique, nous rangeons tous ceux que l'on prépare avec les déchets animaux et ayant une proportion d'azote très élevée par rapport aux autres éléments fertilisants qu'ils peuvent contenir.

On pourrait y ranger aussi les engrais organiques divers que nous avons étudiés après le fumier (tourteaux, guanos, engrais de poisson, etc.)

Le fumier lui-même contient de l'azote organique. Mais tous ces engrais ont une composition qui se rapproche de celle du fumier par la proportion d'acide phosphorique, de potasse, relativement élevée qu'ils contiennent avec l'azote. C'est pour cette raison que nous les avons classés à part, immédiatement après le fumier.

Les corps des animaux contiennent surtout des matières azotées et du phosphate de calcium. Les animaux, en effet, prennent pour leur développement une grande quantité d'azote et d'acide phosphorique aux plantes dont ils se nourrissent; après leur mort, ils peuvent restituer au sol les éléments qui proviennent du sol. On conçoit, dès lors, que les déchets animaux puissent constituer d'excellents engrais.

Les deux éléments, azote et acide phosphorique, ne sont pas

également répartis dans le corps des animaux. Le sang, la chair, les poils, la peau contiennent principalement de l'azote et très peu d'acide phosphorique, ils fourniront des déchets constituant surtout des engrais azotés. Les tissus osseux (os), au contraire, sont surtout riches en phosphates de chaux et contiennent relativement peu d'azote, on peut les considérer comme des engrais phosphatés.

99. Sang. — 1° ***Sang à l'état frais.*** — Un bœuf du poids de 600 kilogrammes donne environ 20 kilogrammes de sang, un mouton 2 kilogrammes. La proportion (pour 100) d'éléments fertilisants que ce sang contient est la suivante :

Azote organique	3,00
Acide phosphorique	0,04
Potasse.	0,06

Il contient 80 pour 100 d'eau.

Expérience : Si l'on met un peu de sang dans un verre à l'air, il se coagule, la fibrine qu'il contient emprisonne les globules sanguins rouges formant le caillot ; au-dessus surnage un liquide jaunâtre, le sérum (fig. 40).

Le sang se corrompt facilement à l'air, la fermentation putride s'y développe rapidement et lui donne une odeur repoussante. Aussi les cultivateurs voisins des abattoirs peuvent seuls l'employer à l'état frais.



Fig. 40.
COAGULATION DU SANG :
Fibrine emprisonnant les globules sanguins et sérum surnageant au-dessus.

Pour empêcher la coagulation qui gênerait l'épandage, on bat le sang frais avec un balai enlevant la fibrine ; le sang reste alors à l'état liquide.

On emploi le sang directement à la fumure des terres sous forme d'arrosages soit à l'état pur, soit mélangé avec une certaine quantité d'eau. Quelquefois, on le fait entrer dans les composts où il est retenu par la terre et nitrifié.

2° ***Sang desséché.*** — *Préparation.* — Dans les grandes villes, on défibrine le sang, puis, pour éviter les mauvaises odeurs, on ajoute une certaine quantité de sulfate de peroxyde de fer qui permet une coagulation très rapide, la masse élastique obtenue est ensuite comprimée puis desséchée.

Le sang desséché se présente dans le commerce sous forme de petits grains noirs ou brunâtres à cassure brillante et d'aspect corné. Il absorbe assez facilement l'humidité et peut alors dégager de l'ammoniaque, aussi faut-il le conserver dans un endroit sec. Sa composition (pour 100) est la suivante :

Azote	10 à 13
Acide phosphorique	0,5 à 1,5
Potasse	0,6 à 0,8

Le sang desséché est un engrais azoté d'une grande efficacité et d'une action rapide. Comme il a une haute valeur et qu'il est assez recherché, on le falsifie souvent; il ne faut donc jamais l'employer sans l'avoir fait analyser.

100. Viande desséchée. — Elle provient principalement de cadavres d'animaux abattus dans les ateliers d'équarrissage ou morts de maladie, d'accidents. Les morceaux de chair sont cuits à la vapeur pendant 12 ou 14 heures, les matières grasses qui surnagent sont enlevées. La chair cuite est desséchée dans des étuves et réduite en poudre.

La viande desséchée contient en moyenne :

9 à 11 pour 100 d'azote.
2 à 3 — d'acide phosphorique.
Des traces de potasse.

Elle constitue un excellent engrais azoté, le prix de son azote est à peu près le même que celui du sang.

101. Matières cornées. — L'agriculture utilise surtout, comme matières cornées, des déchets de corne livrés par l'industrie et provenant de la fabrication de boutons, de peignes, etc. Ces déchets se présentent ordinairement à l'état de rognures, de frisures, de râpures. MM. Müntz et Girard y ont trouvé :

Râpure de corne.	10,20 pour 100	d'azote.
Raclures de sabot.	12,54	—
Frisures de cornes.	14,61	—

Ces matières cornées se décomposent lentement, aussi leur action dans les terres est-elle lente. Elles ont d'autant plus de valeur qu'elles sont plus divisées.

Pour les rendre rapidement utilisables on leur fait subir certains traitements : soit un *chauffage* dans de la vapeur surchauffée, le produit est ensuite desséché et pulvérisé dans un moulin, il contient de 13 à 15 pour 100 d'azote; soit une *torréfaction* sur des plaques en fonte fortement chauffées, la corne torréfiée obtenue contient de 13 à 15 pour 100 d'azote, elle est d'une action rapide.

102. Déchets de cuir. —Ils sont fournis par l'industrie de la tannerie. On les traite par de la vapeur surchauffée ou on les torréfie. Les produits obtenus dosent de 7 à 9 pour 100 d'azote et quelquefois des quantités sensibles d'acide phosphorique. Ils constituent des engrais azotés à action lente.

Déchets de laine. — Ils proviennent des différentes manipulations auxquelles les laines brutes sont soumises dans la filature et la fabrication des draps. Ils renferment de 3 à 4 pour 100 d'azote avec 1/2 ou 1/3 pour 100 d'acide phosphorique.

103. Les engrais à azote organique dans le sol. — Les engrais à azote organique ainsi que les engrais organiques divers, dont nous avons parlé plus haut, subissent dans le sol certaines transformations plus ou moins rapides suivant qu'ils sont plus ou moins divisés, transformations nécessaires pour qu'ils puissent servir à l'alimentation des plantes.

Ces engrais se transforment d'abord en une sorte d'humus dont nous avons déjà parlé (p. 68). L'azote, sous cette forme (c'est toujours de l'azote organique), n'est pas soluble, il ne circule pas dans le sol et ne peut être entraîné par les eaux de pluie, il n'est pas immédiatement utilisable par les plantes.

Sous l'action de certains êtres microscopiques, en présence de l'air et d'une certaine température, l'humus à son tour se transforme peu à peu : *l'azote organique se transforme en azote ammoniacal* (l'ammoniaque formée se combine en grande partie à l'acide carbonique que l'on trouve dans le sol pour former du carbonate d'ammoniaque).

Une partie de cet azote ammoniacal peut être utilisé directement par les plantes ainsi que nous l'avons vu (p. 20); la plus grande partie, si les conditions sont favorables (voir nitrification, p. 70), se transforme en *azote nitrique* (nitrates), forme la plus parfaite pour l'alimentation azotée des plantes.

Si le sol est apte à nitrifier, *la nitrification des engrais à azote organique est plus ou moins rapide suivant l'état de division et la constitution chimique de ces engrais.*

Plus les engrais sont en poudre fine et plus la nitrification est rapide. Citons comme exemple les résultats suivants[1], s'appliquant à des fumures données en terre légère à égalité d'azote :

		En poudre		Non broyées	
	Sans azote millig.	Sang desséché millig.	Corne torréfiée millig.	Râpures de cornes millig.	Laine millig.
Acide nitrique formé dans 100 de terre	1,04	7,02	8,08	3,04	2,07

La constitution chimique des engrais a également une influence sur leur utilisation. Certains d'entre eux, comme le sang par exemple, nitrifient assez rapidement et sont rapidement utilisés par les plantes; d'autres au contraire, comme le cuir torréfié, ont une nitrification lente et sont lentement utilisés par les végétaux.

Les engrais à décomposition lente sont plus longtemps

1. Obtenus par MM. Müntz et Girard.

immobilisés dans le sol; aussi dans un temps donné, pour obtenir de fortes récoltes, est-il nécessaire de fournir à la terre des quantités d'azote organique plus considérables que sous la forme d'azote nitrique; dès lors on engage un capital plus grand qui reste plus longtemps immobilisé. De plus l'agriculteur n'est pas maître de faire utiliser ces engrais par des récoltes déterminées.

Par contre *les pertes d'azote* peuvent être moindres : à mesure que l'azote organique nitrifie, si la nitrification est lente, les petites quantités de nitrates formés sont absorbées par les plantes et ne sont pas entraînées par les eaux de pluies dans les canaux de drainage.

Valeur agricole des différents engrais à azote organique. — D'après les nombreuses expériences de MM. Müntz et Girard, l'efficacité des engrais organiques sur les cultures est, en général, d'autant plus grande que ces engrais se nitrifient plus facilement.

Wagner a comparé l'action fertilisante de plusieurs engrais à azote organique à celle de l'azote nitrique du nitrate de soude : si l'on représente par 100 la valeur fertilisante de l'azote nitrique, la valeur de l'azote organique dans les différents engrais est :

1° Dans le sang desséché, la râpure de cornes, le tourteau de ricin et les engrais verts	65
2° Dans la poudre de viande et de déchets de poisson	63
3° Dans les déchets de laine et le fumier d'étable	25
4° Dans le cuir moulu	15

Un engrais organique contenant une forte proportion d'azote n'est donc pas pour cela un bon engrais; sa valeur dépend autant de la qualité que de la quantité d'azote qu'il renferme (voir Achat des engrais, p. 204).

Comment se comportent les engrais organiques dans les différentes terres. — Dans les terres ne contenant pas de calcaire, dans les terres des landes, les terres tourbeuses, la nitrification se fait mal ou ne se fait pas; les engrais organiques ne pouvant nitrifier ne donnent pas de résultats favorables. Nous ne considérerons donc que les terres où la nitrification peut se produire.

Dans les terres légères, la nitrification est rapide, les matières organiques sont nitrifiées dans un temps relativement court et les plantes peuvent les utiliser assez rapidement. Ces terres se laissant traverser facilement par les eaux de pluie, les nitrates formés peuvent être éliminés en partie. Aussi les agriculteurs disent-ils que ces terres « mangent les engrais ».

Dans les terres franches, la nitrification est moins rapide, et

par conséquent l'utilisation des engrais organiques est plus lente.

Dans les terres fortes où la nitrification est très lente, les engrais organiques agissent lentement et pendant une période plus longue.

II. — ENGRAIS AZOTÉS A AZOTE AMMONIACAL

104. Le sulfate d'ammoniaque. — L'engrais à azote ammoniacal le plus employé en agriculture est le *sulfate d'ammoniaque*. Ce sel dont nous avons étudié les *propriétés* (chimie générale p. 128) se présente sous la forme de cristaux, *solubles dans l'eau*. Il est blanc à l'état pur et contient 21 pour 100 d'azote. Le sulfate d'ammoniaque que l'on rencontre dans le commerce n'est pas en général tout à fait pur, sa couleur est grise ou plus ou moins brune, sa richesse en azote est variable :

Les sulfates d'ammoniaque de fabrication française ont une richesse en azote variant de 20 à 21 pour 100. Les sulfates d'ammoniaque anglais sont moins purs, ils renferment généralement 19 pour 100 d'azote.

L'impureté la plus nuisible que peut contenir le sulfate d'ammoniaque est le *sulfocyanure d'ammonium ou rhodanammonium*, corps très nuisible aux plantes; nous avons appris (chimie générale p. 129) comment on pouvait le reconnaître.

On peut frauder facilement le sulfate d'ammoniaque en le mélangeant avec le sulfate de soude, le sel marin, le sulfate de fer moulu. Aussi l'agriculteur ne doit pas hésiter à exiger une garantie de 20 à 21 pour 100 de pureté et l'absence de sulfocyanure.

105. Le sulfate d'ammoniaque dans le sol. — ***Solubilité de l'ammoniaque. Sa circulation dans le sol.*** — Le sulfate d'ammoniaque est soluble dans l'eau, on comprend dès lors que mis dans le sol, il se dissolve dans les eaux qui y circulent et puisse se présenter aux racines des plantes auxquelles il peut servir d'aliment azoté.

Le *sulfate d'ammoniaque étant soluble dans l'eau, peut-il être entraîné par les eaux de drainage?* — Deux cas peuvent se présenter :

1° Le *sol est calcaire* : Le sulfate d'ammoniaque, en présence du calcaire ou carbonate de calcium du sol, donne lieu à une

double décomposition : le sulfate d'ammoniaque se transforme en *carbonate d'ammoniaque* et le carbonate de calcium en *sulfate de calcium* ou plâtre[1].

C'est le carbonate d'ammoniaque qui est retenu par les propriétés absorbantes du sol dues à l'humus et à l'argile. L'ammoniaque n'est retenue qu'à l'état libre ou à l'état de carbonate[2]. Par conséquent, si la terre ne contient pas de calcaire, le sulfate d'ammoniaque introduit ne se transformera pas en carbonate et ne sera pas retenu par le sol, il sera assez facilement entraîné par les eaux pluviales jusque dans le sous-sol et dans les canaux de drainage.

La nitrification du carbonate d'ammoniaque retenu se produit peu à peu; l'azote ammoniacal se transforme en azote nitrique et si le nitrate formé n'est pas utilisé rapidement par les plantes, comme il n'est pas retenu par les propriétés absorbantes du sol, il peut être facilement entraîné par les eaux de pluie;

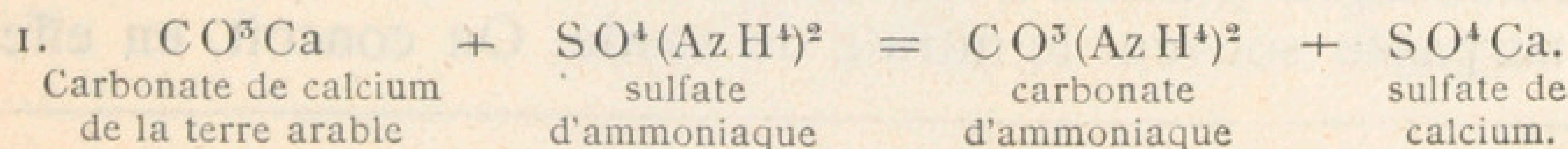
2° Le *sol n'est pas calcaire* : Dans ce cas la transformation du sulfate d'ammoniaque en carbonate d'ammoniaque ne se produit pas; le sulfate d'ammoniaque, n'étant pas retenu par les propriétés absorbantes du sol, peut être facilement et rapidement entraîné par les eaux de pluies.

Cas d'une terre très calcaire. — Dans une terre très calcaire le sulfate d'ammoniaque se transforme aussi en carbonate d'ammoniaque, mais ce dernier, au contact de l'excès de calcaire, se décompose aisément et son ammoniaque s'échappe, se perd dans l'atmosphère[3].

Nitrification de l'azote ammoniacal. — Rapidité de la nitrification

Nous savons, que sous l'action des ferments du sol, l'azote ammoniacal se transforme en azote nitrique (voir Nitrification, p. 71). M. Schlœsing a montré la rapidité de cette transformation en employant le chlorhydrate d'ammoniaque. En dix-sept jours les 9/10 environ de l'ammoniaque employé ont été transformés en nitrate lequel peut être entraîné par les eaux de pluie.

Dans certaines expériences faites par MM. Müntz et Girard, on constate que l'ammoniaque a très rapidement nitrifié et que, deux jours après avoir été introduite dans le sol, il a déjà donné naissance à des quantités appréciables de nitrate.



1. $CO^3Ca + SO^4(AzH^4)^2 = CO^3(AzH^4)^2 + SO^4Ca.$

Carbonate de calcium de la terre arable	sulfate d'ammoniaque	carbonate d'ammoniaque	sulfate de calcium.

2. Voir p. 93 les expériences à ce sujet.
3. D'après les expériences de MM. Nivet, et Giustiniani au Muséum.

Nous avons vu que le phénomène de la nitrification a son maximum d'intensité lorsque certaines conditions d'humidité et de température sont réalisées : il faut que la terre soit humide, mais pas trop; il faut que la température soit au voisinage de 30 à 35 degrés. Lorsque le temps est chaud et humide, par exemple, pendant les temps orageux, la nitrification a son maximum d'activité. En hiver, la nitrification est très peu développée à cause de la température.

Le sulfate d'ammoniaque dans les différentes terres. — 1° *Terres privées de calcaire.* — Dans les sols privés de calcaire, le sulfate d'ammoniaque ne subit pas de transformation, il peut alors se concentrer et agir comme un poison sur les plantes[1]. On *ne doit donc pas*, d'après Déhérain, *employer le sulfate d'ammoniaque comme engrais dans un sol qui ne fait pas effervescence. avec les acides.* Le sulfate d'ammoniaque, dans ces terres, ne peut être employé qu'à la condition d'incorporer au préalable dans le sol une certaine quantité de chaux, c'est-à-dire de pratiquer un chaulage (voir chaulage, p. 192). D'ailleurs, ainsi que nous l'avons vu, le sulfate d'ammoniaque n'étant pas retenu par les propriétés absorbantes du sol, peut être entraîné facilement dans les eaux de drainage.

2° *Terres légères renfermant du calcaire.* — A la suite d'expériences nombreuses, Déhérain émet les conclusions suivantes : « Le sulfate d'ammoniaque employé à haute dose dans une terre légère et calcaire est nuisible pour plusieurs raisons; ses dissolutions s'y transforment mal en nitrate, elles se concentrent et deviennent vénéneuses; enfin le sulfate de chaux, produit par la réaction du sulfate d'ammoniaque sur le calcaire, agit sur l'argile, la coagule et exagère les propriétés de dessication des sols qui les ont reçues. »

3° *Terres très riches en calcaire.* — Ainsi que le fait remarquer également Déhérain : « Les effets fâcheux que nous venons d'indiquer se produisent d'une façon encore plus manifeste sur les terres franchement calcaires; le sulfate d'ammoniaque ne doit jamais y être employé car une nouvelle réaction nuisible vient s'ajouter à celles décrites plus haut; en effet, le carbonate d'ammoniaque produit se décompose aisément, et son ammoniaque s'échappe et se perd dans l'atmosphère. »

4° *Terres argileuses appelés terres fortes.* — Le sulfate d'ammoniaque produit d'excellents effets dans les terres fortes, il y surpasse souvent le nitrate de soude. On concoit, en effet,

---

1. Bulletin de la station agronomique de Rhode-Island, expériences de MM. Wheeler et Tillinghast citées par M. Déhérain.

que, ces terres étant humides et douées d'un grand pouvoir absorbant, le sulfate d'ammoniaque ne s'y trouve jamais en solutions assez concentrées pour devenir un poison ou permettre à l'ammoniaque de résister aux ferments nitriques qui le nitrifient.

106. Autres sels et produits ammoniacaux. — A côté du sulfate d'ammoniaque, le plus employé en agriculture, on peut citer encore :

Le sel ammoniac ou chlorhydrate d'ammoniaque. (Voir *Chimie générale.* p. 127). — Il renferme environ 27 pour 100 d'azote ; il peut servir à la fumure au même titre que le sulfate d'ammoniaque. Si on ne l'emploie pas, c'est que son prix est relativement trop élevé.

Le nitrate d'ammoniaque. — Il renferme de l'azote à la fois sous la forme d'azote nitrique et sous la forme d'azote ammoniacal. A l'état pur il contient 40 pour 100 d'azote. On ne l'emploie pas en grande culture à cause de son prix élevé ; on ne l'utilise avantageusement que dans la préparation des solutions nutritives destinées à la culture des plantes en pots.

Le phosphate d'ammoniaque. — Il renferme 28 pour 100 d'azote et près de 50 pour 100 d'acide phosphorique. Il agit sur la végétation non seulement par son azote mais aussi par son acide phosphorique. « Il serait à désirer que sa fabrication et son usage se répandissent davantage en France. »

Le Crud ammoniac. (signifie en anglais : « ammoniac cru ou âcre ») est un résidu des matières servant à l'épuration du gaz d'éclairage. Ce produit noirâtre, pulvérulent est constitué par un mélange de sels ammoniacaux, de sulfocyanures, de sulfate de fer, de sulfate de chaux, etc.

Employé sur les plantes en végétation, il les détruit; mais, d'après Garola, mélangé au sol nu longtemps à l'avance, les sulfocyanures s'oxydent et leur azote devient fertilisant. Pour utiliser le *Crud ammoniac*, l'application doit se faire le plus tôt possible après les récoltes enlevées, et, en ce qui concerne la vigne, le plus tôt possible après l'arrêt de la végétation.

Eaux ammoniacales. — Les eaux de condensation du gaz contiennent près de 15 kilogrammes d'ammoniaque par mètre cube. Elles peuvent être utilisées par les agriculteurs comme engrais azotés. Il y a cependant des précautions à prendre : l'ammoniaque se présente sous forme de carbonate d'ammoniaque, sel caustique pouvant brûler les plantes; aussi faut-il les étendre de 10 à 15 fois leur volume d'eau au moment de s'en servir.

III. — ENGRAIS AZOTÉS A AZOTE NITRIQUE

107. Le nitrate de soude. — Le nitrate de soude est un des engrais azotés les plus employés en agriculture.

Ce sel que nous avons déjà étudié (Chimie générale, p. 123) contient à l'état pur 16,47 pour 100 d'azote. Le nitrate de soud que l'on rencontre dans le commerce n'est pas tout à fait pur il renferme de 3 à 5 pour 100 d'impuretés. On ne doit l'achete qu'avec un titre minimum de garanti de 15 pour 100 d'azote.

Le nitrate de soude est *falsifié* avec des sels bruts de potasse

avec du sable blanc cristallin[1], avec du sel marin, des débris de verre. (Voir Chimie générale, p. 125. *Comment on reconnaît approximativement la pureté du nitrate de soude.*)

Rappelons que le nitrate de soude est très soluble dans l'eau, qu'il absorbe facilement l'humidité, aussi faut-il le conserver dans des lieux secs pour ne pas le perdre sous forme de solution.

108. Le nitrate de soude dans le sol. — Le nitrate de soude étant un sel très soluble absorbant facilement l'humidité, on comprend qu'il puisse facilement se dissoudre dans l'eau que contiennent les terres.

D'après MM. Müntz et Girard, des cristaux de nitrate de soude placés dans une terre séchée à l'air ne renfermant que 5 pour 100 d'humidité se sont dissous en moins de deux jours. Il est donc inutile de se préoccuper de la dissolution de ce sel dans le sol, les terres contenant toujours assez d'humidité pour qu'elle puisse se faire. Elle s'effectue alors même que le nitrate est donné en couverture, c'est-à-dire mis à la surface des champs.

Il est bon toutefois d'examiner ce qui se passe lorsque l'application du nitrate de soude aux terres est suivie de sécheresse.

Dans le cas de sécheresse chaque cristal de nitrate absorbe l'humidité qui l'entoure en produisant une dissolution concentrée qui imprègne les particules terreuses les plus rapprochées. Ces dissolutions concentrées font autant de taches qui attirent l'humidité et dessèchent graduellement les différentes parties du sol qui les entourent. Supposons maintenant, qu'après une application de nitrate de soude on opère des semailles : si les graines tombent dans les dissolutions concentrées, la germination se fera mal; si elles tombent dans les parties sèches la germination ne se fera pas faute d'eau. Enfin, le nitrate de soude mis en couverture sur les jeunes plantes peut leur nuire, en formant en certains points du sol des dissolutions concentrées nuisibles aux racines.

En réalité, ces faits cités par MM. Müntz et Girard n'ont pas l'importance qu'on pourrait leur attribuer : dans la pratique, on ne répand pas, en effet, le nitrate de soude avant les semailles à cause des pertes que peuvent occasionner les eaux de pluie; on le répand au moment où les jeunes plantes commencent à se développer et où elles peuvent l'utiliser. Comme le nitrate de soude n'est appliqué aux sols qu'au printemps, il est assez rare qu'à cette époque la sécheresse se fasse bien sentir et qu'elle

1. M. Garola en a trouvé jusqu'à 56 pour 100, Müntz 26 pour 100.

soit assez forte pour lui permettre de former des dissolutions concentrées nuisibles aux racines des plantes. On constate simplement que, pendant tout le temps que dure la sécheresse, le nitrate de soude ne produit pas d'effet sur les plantes et qu'il n'est utilisé que lorsqu'une pluie le répartit en solution faible dans toutes les parties du sol.

Dans le cas de pluies, le nitrate de soude se dissout; comme il n'est pas retenu par le pouvoir absorbant du sol, il est entraîné d'autant plus profondément dans la terre que la pluie est plus abondante et que cette terre est moins imperméable. Il peut donc disparaître dans les canaux de drainage ou être entraîné à une profondeur inaccessible aux racines des plantes. Aussi ne l'emploie-t-on qu'au *printemps*, en couverture, au moment où les plantes peuvent l'utiliser. Pour plus de précautions, on le répand très souvent en deux fois afin d'avoir moins de chances de pertes et que l'utilisation soit plus complète.

D'ailleurs, au printemps les pluies ne sont presque jamais assez importantes pour entraîner le nitrate de soude à des profondeurs trop grandes ou jusque dans les canaux de drainage. Lorsqu'elles cessent, « l'évaporation produite à la surface de la terre ou déterminée par les végétaux ramène vers les parties supérieures du sol les liquides qui étaient descendus; le nitrate remonte avec eux et peut ainsi revenir au voisinage des racines des plantes ». (Müntz et Girard.)

En admettant même que les dissolutions ne remontent pas suffisamment par capillarité, les racines des plantes vont à des profondeurs assez grandes pour s'alimenter en nitrate; il ne faut pas oublier qu'elles atteignent le plus souvent une longueur de $1^m,50$ et quelquefois 2 mètres.

Influence du nitrate de soude en temps de sécheresse. — Lorsque les plantes ont reçu, à l'aide du nitrate de soude, une alimentation azotée assez forte, les racines se développent, croissent et deviennent assez puissantes pour aller, en cas de sécheresse, chercher l'eau à des profondeurs de $1^m,50$ à 2 mètres; elles trouvent ainsi des réserves d'eau qui leur permettent de moins ressentir les effets de la sécheresse.

Il est évident, ainsi que le fait remarquer Déhérain, qu'il ne faut pas se faire des illusions sur l'efficacité du nitrate de soude au point de supposer que son épandage suffit pour préserver les terres des effets funestes de la sécheresse; il n'en est pas moins vrai cependant que les récoltes ayant reçu du nitrate résistent mieux au manque d'eau.

Le nitrate de soude dans les différentes terres. — Le nitrate de soude peut être absorbé directement par les végétaux. Néanmoins, comme la soude ne fait pas habituellement partie des

cendres des végétaux[1], on peut être étonné de constater que le nitrate de soude a une remarquable efficacité sur le développement des plantes. Mais, ainsi que le fait remarquer Déhérain, il ne faut pas oublier que les matières introduites dans le sol y réagissent sur les substances qu'il renferme naturellement et que, par suite, une terre qui a reçu du nitrate de soude renferme bientôt du nitrate de potasse ou du nitrate de chaux formés aux dépens du carbonate de potasse ou de chaux contenu dans le sol. Ce sont ces nitrates qui sont assimilés.

Les terres contiennent toujours assez de potasse ou de chaux pour ces transformations. D'ailleurs, la soude peut remplacer partiellement la potasse dans beaucoup de sols et pour beaucoup de plantes.

Par conséquent, dans toutes les terres le nitrate de soude se prête à l'absorption par les végétaux.

Une seule objection peut être faite au sujet de son emploi dans les terres légères : il peut être facilement entraîné par les eaux de pluie jusque dans les canaux de drainage et être perdu en partie pour la végétation. Dans ce cas, pour éviter le plus possible les pertes, on répand le nitrate au moins en deux fois.

On serait tenté, dans les terres légères, d'employer le sulfate d'ammoniaque à la place du nitrate, le sulfate d'ammoniaque mettant un certain temps à se nitrifier. « Il est manifeste dit Déhérain, que si des pluies abondantes suivent, au premier printemps, l'épandage du nitrate, les pertes peuvent être considérables, c'est une mauvaise chance à courir; malgré cela, à égalité d'azote, l'emploi du nitrate de soude est généralement plus avantageux que celui des sels ammoniacaux[2]. »

109. Le nitrate de potasse. — Le nitrate de potasse pur est très rarement employé en agriculture à cause de son prix trop élevé. On a parfois recours au nitrate de potasse brut (salpêtre). Les salpêtres bruts renferment.

Azote	12 à 14 pour 100.
Potasse	41 à 46 —

On y trouve souvent 5 à 10 pour 100 d'impuretés et même 15 à 20 pour 100. Cet engrais fournit à la fois de l'azote nitrique et de la potasse, mais le plus souvent son prix est plus élevé que le prix total de l'azote et de la potasse fournis. Il n'est donc pas économique d'y avoir recours, sauf dans certains cas spéciaux pour les cultures maraîchères. « Il a, en outre, l'inconvénient d'apporter une quantité énorme de potasse relativement à celle de l'azote, potasse qui peut ne pas être utile. » (Garola.)

1. Surtout chez les plantes qui naissent loin des bords de la mer.
2. C'est ce qui résulte aussi des expériences faites à Rothamsted et à Woburn.

110. Le nitrate de chaux. — Nous avons vu (*Chimie générale*, p. 140) comment on est arrivé à fabriquer économiquement le nitrate de chaux.

La fabrication de l'acide nitrique avec les éléments de l'air (azote et oxygène) à l'aide d'un four électrique[1] pourra peut être fournir des quantités importantes de nitrate de chaux utile à l'agriculture.

D'après les expériences de M. Schlœsing fils, le nitrate de chaux et le nitrate de soude donnent en culture les mêmes résultats[2].

Dès que le nitrate de chaux sera fourni à un prix inférieur à celui du nitrate de soude, il pourra sérieusement entrer en concurrence avec ce dernier.

V. — L'AZOTE CALCIQUE, OU CHAUX-AZOTE, OU CYANAMIDE

111. L'***azote calcique***, appelé encore *chaux-azote* (les chimistes lui donnent le nom de *cyanamide de calcium* $CaCAz^2$), est un produit que l'on obtient, ainsi que nous l'avons vu, en faisant passer un courant d'air, préalablement dépouillé de son oxygène, sur du carbure de calcium porté par l'effluve électrique à une température voisine du rouge blanc[3].

Le commerce livre actuellement à l'agriculture deux dosages : la cyanamide à 15 pour 100 d'azote et la cyanamide à 20 pour 100 d'azote.

Ces produits se présentent sous forme de poudre noire ; ils contiennent, outre l'azote indiqué, 60 pour 100 de chaux, soit libre, soit combinée.

La chaux-azote, ou cyanamide, se transforme dans le sol au contact de l'eau en ammoniaque et en carbonate de chaux. En incorporant au sol de la chaux-azote on introduit donc de l'ammoniaque dans la terre arable. Or, nous savons que l'ammoniaque est facilement transformée par des ferments en azote nitrique si utile aux plantes.

D'après MM. Müntz et Nottin, la chaux-azote constitue un engrais très sensiblement analogue au sulfate d'ammoniaque. Il peut donc par conséquent concurrencer sérieusement le nitrate de soude.

Mode d'emploi. — La chaux-azote, ou cyanamide, *pour les cultures d'hiver*, doit être employée à l'automne, lors des labours ; il est bon de l'appliquer quelques jours avant les semailles (8 à 15 jours d'intervalle entre le semis d'engrais et les semailles suffisent). Pour les terres maigres, pauvres en azote, il vaut mieux faire deux épandages : moitié à l'automne, moitié au printemps. On peut aussi l'appliquer au printemps en couverture.

Lorsqu'on utilise l'engrais en couverture, les feuilles les plus rapprochées du sol sont comme roussies par son voisinage (surtout lorsqu'il ne pleut pas), mais cet effet n'est que passager et sans grand inconvénient.

La cyanamide peut être mélangée avec les autres engrais (phosphatés et potassiques) pour l'épandage ; on la recouvre ensuite par un labour ou un bon hersage.

Les doses moyennes à employer pour la cyanamide à 15 pour 100 varie de 150 à 300 kilogrammes (on réduit ces chiffres de un quart pour la cyanamide à 20 pour 100 d'azote).

D'après P. Wagner, il faut écarter l'emploi de la chaux-azote dans les sols acides, ou favorables à la production d'acide humique (sols riches en humus et pauvres en chaux), dans les sols sablonneux peu fertiles ; il y a lieu également de ne pas la répandre pendant la saison chaude (par exemple, en couverture sur les betteraves, en juillet). La cyanamide donne d'excellents effets dans les terres meubles, dans les terres argilo-sableuses.

---

1. Procédé Birkeland et Eyde.
2. Communication à l'Académie des sciences (13 novembre 1905).
3. Procédé Franck et Caro.

CHAPITRE XX

COMPARAISON ENTRE LES DIFFÉRENTES FORMES D'AZOTE

I. — COMPARAISON ENTRE L'AZOTE AMMONIACAL FOURNI PAR LE SULFATE D'AMMONIAQUE ET L'AZOTE NITRIQUE FOURNI PAR LE NITRATE DE SOUDE

112. Comparaison au point de vue de l'assimilation par les végétaux. — Nous avons vu (p. 19) que les plantes sont capables d'absorber directement l'azote nitrique sous forme de nitrate. Le nitrate de soude peut donc agir directement dès qu'il est en dissolution.

Nous avons vu également que l'azote ammoniacal sous forme de sels ammoniacaux, notamment de sulfate d'ammoniaque, est directement assimilable par les plantes. Il semble cependant que, directement absorbé, il ne produit pas d'aussi bons effets que l'azote nitrique[1].

Dans tous les cas, au point de vue pratique, l'absorption directe de l'azote ammoniacal a peu d'importance puisque cet azote est transformé rapidement en azote nitrique.

Si l'azote ammoniacal se transformait intégralement en nitrate dans le sol, il faudrait attribuer la même valeur à l'azote de ces deux engrais actifs. Mais des recherches de certains agronomes[2] ont montré que l'azote ammoniacal n'est pas transformé totalement en azote nitrique : après la nitrification Wagner ne retrouve plus que 88 à 89 pour 100 de l'azote ammoniacal employé, d'où une perte de 10 pour 100. C'est probablement pour cette raison qu'à égalité d'azote le nitrate de soude, ainsi que nous allons le voir, donne une augmentation de récolte généralement plus forte que le sulfate d'ammoniaque.

---

1. C'est ce qui résulte aussi des expériences faites à Rothamsted et à Woburn.
2. Wagner, Kellner.

113. Comparaison au point de vue de la circulation du sol. — Le sulfate d'ammoniaque étant retenu par les propriétés absorbantes du sol, on a une tendance à croire que c'est un « engrais de surface » comme on l'appelle parfois. Aussi conseille-t-on, quelquefois à tort, de l'appliquer de préférence aux plantes dont les racines se développent plus particulièrement dans les couches supérieures du sol.

Au contraire, le nitrate de soude, n'étant pas retenu par les propriétés absorbantes du sol, est entraîné facilement par les eaux pluviales dans les profondeurs du sol; aussi l'appelle-t-on « engrais de fond ».

En réalité, le sulfate d'ammoniaque n'est pas un « engrais de surface ».

Répandu comme le nitrate de soude à la surface du sol, il est fixé par les propriétés absorbantes de la terre et reste dans les parties supérieures du sol tant qu'il n'est pas nitrifié, les eaux pluviales ne peuvent l'entraîner. Mais, dès que la nitrification se produit (et nous savons que la nitrification est rapide) les nitrates formés se comportent comme le nitrate de soude. Le sulfate d'ammoniaque au bout de quelques jours et le nitrate de soude ont donc la même tendance à descendre dans les couches inférieures du sol, entraînés par les eaux pluviales.

« Quant à la réputation du sulfate d'ammoniaque de remonter à la surface, elle n'est pas davantage justifiée. Tous les sels solubles, en dissolution dans l'eau qui imprègne le sol, remontent dans les couches supérieures par le fait de l'évaporation à la surface. Le sulfate d'ammoniaque n'a pas cette propriété à un plus haut degré que les nitrates ou que tout autre sel soluble. » (Müntz et Girard.)

114. Comparaison au point de vue des déperditions d'azote dans les eaux de drainage. — Le sulfate d'ammoniaque, tant qu'il n'est pas nitrifié, n'est pas entraîné dans les eaux de drainage grâce aux propriétés absorbantes du sol. Aussi ne relève-t-on dans ces eaux que des quantités insignifiantes d'azote ammoniacal ne dépassant pas 1 milligramme par litre.

Dès que le sulfate d'ammoniaque est nitrifié, c'est-à-dire transformé en nitrate, les déperditions peuvent se produire comme elles se produisent pour le nitrate de soude.

Cependant, les déperditions d'azote, quand on emploie le nitrate de soude, sont un peu plus fortes que lorsqu'on emploie le sulfate d'ammoniaque.

C'est ainsi que MM. Lawes et Gilbert, dans une culture de blé continuée pendant 30 années avec une fumure annuelle de 96 kilogrammes d'azote par hectare (sous forme de sulfate d'am-

moniaque ou sous celle de nitrate de soude) ont obtenu les résultats suivants :

	Sans engrais azoté. Kg.	Azote ammoniacal. Kg.	Azote nitrique. Kg.
Azote trouvé dans la récolte	22,7	51,7	51,8
Azote perdu dans l'eau de drainage .	13,4	34,7	40,0

On comprend dès lors pourquoi le sulfate d'ammoniaque et surtout le nitrate de soude ne doivent pas être employés avant l'hiver, mais bien au printemps au moment où les pluies sont moins fréquentes et où ils peuvent être utilisés par les plantes.

115. Comparaison au point de vue des rendements culturaux. — Nous pouvons citer les expériences de MM. Lawes et Gilbert en Angleterre dont la grande durée (30 ans) offre toute garantie :

BLÉ.

	Poids moyen des récoltes obtenues par hectare pendant 30 ans de 1851 à 1881.	
	Grain. Kg.	Paille. Kg.
Engrais minéral seul	1007	1660
— plus 96kg. d'azote ammoniacal .	2163	4155
— plus 96kg. — nitrique. . . .	2370	5175

ORGE.

	Poids moyen des récoltes obtenues par hectare pendant 20 ans de 1852 à 1871.	
	Grain. Kg.	Paille. Kg.
Engrais minéral seul	1626	1804
— plus 48kg. d'azote ammoniacal .	2798	3578
— plus 48kg. — nitrique. . . .	2973	4065

Dans ces deux séries d'expériences l'emploi du nitrate s'est donc montré supérieur à celui du sulfate d'ammoniaque, surtout pour le blé.

AVOINE.

	Poids moyen des récoltes obtenues par hectare pendant 5 ans de 1869 à 1873.	
	Grain. Kg.	Paille. Kg.
Engrais minéral seul	960	1679
— plus 96kg. d'azote ammoniacal .	2445	5163
— plus 96kg. — nitrique . . .	2360	4394

Dans cette série d'expériences, dont la durée n'est que de cinq ans, l'azote ammoniacal s'est, au contraire, montré supérieur à l'azote nitrique.

Un autre agronome, Wagner, dans des expériences faites en plein champ, en 1899 et 1900, avec 100 kilogrammes de nitrate de soude et la quantité correspondante de sulfate d'ammoniaque, a obtenu les résultats suivants :

ESSAIS DE 1899.

		Nitrate de soude.	Sulfate d'ammoniaque.
Seigle.	Moyenne de 5 essais	367kg de grain. . .	224kg de grain.
Avoine.	— 6 —	287 — . .	235 —
Orge	— 4 —	313 — . .	300 —
Betteraves sucrières	— 4 —	2190 de racines. .	180 de racines.
Betteraves fourragères. . . .	— 6 —	3620 — . .	1080 —
Pommes de terre	— 4 —	2890 de tubercules.	1850 de tubercules.

ESSAIS DE 1900.

		Nitrate de soude.	Sulfate d'ammoniaque.
Seigle.	Moyennes de 11 essais	452kg de grain. .	278kg de graines.
Avoine	— 3 —	393 —	292 —
Orge	— 7 —	588 —	341 —
Betteraves fourragères. . . .	— 3 —	4670kg de racines .	2830 de racines.
Pommes de terre	— 3 —	3340kg de tubercules	2860 de tubercules

Il est à remarquer, d'après de nombreuses expériences, que le nitrate de soude employé seul donne de meilleurs résultats que le sulfate d'ammoniaque également seul : « le nitrate de soude dit Déhérain, solubilise évidemment les éléments minéraux fertilisants contenus dans la terre et les rend beaucoup plus assimilables par la récolte que ne le fait l'ammoniaque. Il y a là une indication dont les cultivateurs doivent tirer parti : si, à la rigueur, ils peuvent réussir en employant le nitrate de soude seul, sans phosphates ni potasse et obtenir de bonnes récoltes, ils risquent de n'en avoir que de médiocres, s'ils n'associent pas les engrais minéraux au sulfate d'ammoniaque ; ce dernier répandu seul est souvent peu efficace. »

En résumé, si l'on tient compte des nombreuses expériences de la plupart des agronomes[1] *on peut tirer les conclusions suivantes :*

1° Le nitrate de soude l'emporte sur le sulfate d'ammoniaque dans les terres privées de calcaire[2].

---

1. Lawes et Gilbert, Déhérain, Wagner, Wasington, etc.
2. Voir p. 146 et 150.

2° Le nitrate de soude l'emporte sur le sulfate d'ammoniaque dans les terres légères et calcaires.

3° Le nitrate de soude l'emporte sur le sulfate d'ammoniaque dans les terres très calcaires.

4° Le nitrate de soude l'emporte encore dans les sols secs et les années riches. Par contre, le sulfate d'ammoniaque est supérieur au nitrate en terrains humides et quand les pluies sont fréquentes.

5° Le sulfate d'ammoniaque surpasse souvent le nitrate de soude dans les terres fortes.

D'après M. Grandeau, les céréales de printemps, avoine et orge, sont particulièrement sensibles à l'action du nitrate de soude. Il estime, en tenant compte des très nombreuses expériences qui ont été faites depuis une quinzaine d'années, que l'on peut compter en moyenne à l'hectare sur une augmentation de 4 à 500 kilogrammes de grains et 7 à 8000 kilogrammes de paille (en excédent sur le sol non nitraté) par l'épandage de 100 kilogrammes de nitrate; pour les pommes de terre 3 à 400 kilogrammes, pour les betteraves sucrières 6 à 7000 kilogrammes, pour les betteraves fourragères 5 à 6000 kilogrammes.

Les doses de nitrate et de sulfate employées varient de 100 à 350 kilogrammes suivant la richesse des sols.

II. — COMPARAISON ENTRE L'AZOTE MINÉRAL[1] ET L'AZOTE ORGANIQUE[2]

116. — L'azote organique, pour être utilisé par les plantes, doit, comme nous l'avons vu, être transformé en azote ammoniacal et en azote nitrique. Ces transformations sont relativement lentes; aussi les engrais à azote organique ne fournissent-ils de l'azote aux végétaux que graduellement, par petites fractions; leur effet sur la première récolte est moins énergique que celui produit par les engrais à azote minéral tels que le nitrate de soude, le sulfate d'ammoniaque; mais il est de plus longue durée; il se fait sentir sur la récolte suivante, de moins en moins il est vrai, jusqu'à ce que les dernières portions d'azote organique soient nitrifiées.

Les risques de pertes d'azote dans les eaux de drainage sont évidemment moins grands avec l'azote organique qu'avec

1. Fourni par le nitrate de soude, le sulfate d'ammoniaque, etc.
2. Fourni par des engrais organiques.

l'azote minéral, précisément à cause de la lenteur que présentent les transformations qu'il subit. On constate aussi que les terres s'enrichissent en azote lorsqu'on emploie l'azote organique.

Ainsi MM. Lawes et Gilbert ont dosé l'azote des terres qui avaient reçu des fumures azotées pendant 30 années; ils ont trouvé :

		Azote par kg.
Parcelle sans engrais		1,09
—	avec sels ammoniacaux	1,10 à 1,20
—	fumier de ferme	1,88

L'engrais minéral n'a donc pas laissé d'azote dans le sol puisque la parcelle sans engrais contient autant d'azote que la parcelle ayant reçu des sels ammoniacaux.

De ce qui précède on pourrait déduire que l'emploi des engrais à azote organique est préférable à celui des engrais à azote minéral. Ce serait à tort. Nous avons vu que les engrais à azote organique sont absolument indispensables pour fournir au sol l'humus qui lui est nécessaire; il faut donc les employer, mais avec ces engrais seuls on ne peut faire de la culture intensive, on ne peut obtenir des récoltes maxima, leur transformation lente en azote ammoniacal et en azote nitrique en est la cause; ils ne fournissent pas assez *rapidement* aux plantes les quantités d'aliments que ces dernières sont susceptibles d'absorber.

Il faut donc, pour obtenir de fortes récoltes, avec les engrais à azote organique, comme le fumier par exemple, employer en même temps des engrais azotés à azote minéral; *le bénéfice que procure l'excédent de rendement compense largement les pertes provenant de la solubilité de l'azote minéral.*

Dans quels sols doit-on de préférence employer l'azote organique ou l'azote minéral? L'azote sous ces deux formes doit être employé dans tous les sols, et cela se comprend puisque l'azote organique seul ne peut permettre, ainsi que nous venons de le voir, d'obtenir des récoltes maxima.

Dans les terres légères, cependant, véritables cribles pour les dissolutions salines, l'azote minéral se perdant facilement dans les eaux de drainage, on peut employer de préférence de plus fortes doses d'azote organique, s'adresser à des engrais organiques de décomposition lente et ne répandre l'azote minéral que prudemment en plusieurs fois.

Les engrais à azote minéral sont des engrais de printemps; ils redoutent les pluies d'hiver; les engrais à azote organique sont des engrais d'automne : on peut les répandre en toute saison.

CHAPITRE XXI

LES ENGRAIS PHOSPHATÉS

117. Comment on reconnaît qu'une terre a besoin d'engrais phosphatés 1° ***Par l'analyse chimique.*** — Nous avons vu (page 78) qu'une terre est considérée comme ayant une richesse satisfaisante en acide phosphorique lorsqu'elle contient 1 gramme d'*acide phosphorique total* par 1 000 grammes de terre. Mais tout cet acide phosphorique peut ne pas être assimilable par les plantes. Nous avons vu, en effet (page 79), que l'acide phosphorique se trouve dans le sol sous deux états différents : une portion est soluble dans l'acide acétique et paraît assimilable, l'autre n'est soluble que dans les acides minéraux concentrés et n'est pas assimilable. Les résultats que fournit l'analyse chimique ne doivent donc pas être regardés comme ayant une signification absolue au point de vue des besoins du sol en acide phosphorique, ils ne peuvent servir qu'à fixer les idées.

Lorsque l'analyse indique une quantité d'acide phosphorique total *faible*, c'est-à-dire considérée comme appartenant à une terre pauvre, on est certain que cette terre a besoin d'engrais phosphatés; lorsqu'au contraire l'analyse indique que la terre est suffisamment riche en acide phosphorique total, comme cet acide phosphorique peut ne pas être assimilable, il est toujours prudent de contrôler les résultats d'analyse par des essais directs de culture.

2° ***Par l'aspect des récoltes.*** — Il est assez difficile de se rendre compte de l'insuffisance d'une terre en acide phosphorique par le simple examen des végétaux, sauf pour les *céréales*.

Lorsque les céréales, tout en présentant une végétation herbacée vigoureuse, ont des épis peu fournis avec peu de grains, ou des grains mal venus, avortés, lorsque le rendement est faible par raport à la proportion de paille, on peut en déduire que la terre ne contient pas assez d'acide phosphorique.

Nous savons que l'azote favorise la production de paille (« pousse à la paille » comme on dit vulgairement) et que l'acide phosphorique favorise la production du grain. Aussi dit-on sou-

vent que l'acide phosphorique est le correctif de l'azote. L'acide phosphorique se concentre, en effet, dans les semences : ainsi 1 kilogramme de cet élément suffit pour la formation de 460 kilogrammes de paille de blé, tandis que cette même quantité est nécessaire pour la formation de 125 kilogrammes de grains.

Ne pas oublier que l'acide phosphorique, dans une terre pauvre en cet élément, ne produit tout son effet sur les récoltes qu'à la condition que les autres éléments fertilisants (azote, potasse, etc.), soient en quantités suffisantes.

3° ***Par des essais directs de culture.*** — C'est le meilleur moyen à employer surtout lorsque l'analyse chimique indique un taux suffisant d'acide phosphorique total, cet acide phosphorique pouvant n'être pas assimilable par les plantes.

M. Corenvinder cite, en effet, des expériences où, dans un sol dosant 0,8 pour 1000 d'acide phosphorique et classé par conséquent dans les terre moyennement riches, le superphosphate de chaux a donné des augmentations de rendement sensibles pour une culture de betteraves .

Fumure azotée seule, 51 750 kilogrammes par hectare.

Fumure azotée et superphosphate, 55 400 kilogrammes par hectare.

Dans une terre dosant de 1 à 1,5 pour 1000 d'acide phosphorique et par conséquent riche, M. Corenvinder a obtenu également des résultats avantageux en employant des engrais phosphatés :

Fumure azotée seule, 33 700 kilogrammes de betteraves par hectare.

Fumure azotée et superphosphate, 42 000 kilogrammes par hectare.

M. Pagnoul recommande l'emploi des engrais phosphatés pour la betterave à sucre, lorsque la proportion d'acide phosphorique dans la terre ne dépasse pas 1,6 pour 1000.

Les effets des engrais phosphatés sur les récoltes sont très souvent assez visibles pour que l'on puisse les constater simplement à la vue. Il est bon toutefois de toujours utiliser la bascule pour se rendre un compte exact des résultats obtenus.

118. Exigence des récoltes en acide phosphorique. — Les exportations moyennes d'acide phosphorique opérées sur un hectare de terre par les différentes récoltes sont les suivantes[1] :

Plantes céréales.	Kgs.	*Plantes industrielles.*	Kgs.
Blé (15 hectolitres)	16,1	Colza	47,8
Blé (40 hectolitres)	43,1	Œillette	26,6
Orge	17,0	Lin	21,8
Seigle	21,0	Chanvre	43,7
Avoine	12,5	Houblon	13,0
Maïs	20,1		
Sarrasin	12,7		

1. D'après MM. Müntz et Girard.

Racines et tubercules.	Kgs.	*Plantes fourragères.*	Kgs.
Carotte	43,0	Foin de prairie	21,0
Navet, rave	47,0	Seigle vert	48,0
Rutabaga	115,0	Maïs fourrage	42,0
Betterave fourragère	48,6	Choux fourrage	107,0
Betterave à sucre	45,0	Trèfle rouge	45,0
Pomme de terre	36,6	Luzerne	51,0
Topinambour	39,0	Sainfoin	21,2
		Gesse et vesce	24,8

Comme on le voit, les exigences des récoltes en acide phosphorique varient en *moyenne* de 15 à 50 kilogrammes. Les plantes fourragères sont, en général, plus exigeantes en acide phosphorique que les céréales; aussi sont-elles plus sensibles à l'application des engrais phosphatés. Ce sont elles que l'on doit surtout utiliser dans les essais directs de culture.

Nous avons vu que de trop fortes doses d'engrais azotés présentaient des inconvénients : verse des céréales, production foliacée excessive et retard de la maturité. Ces inconvénients ne se présentent pas avec l'acide phosphorique; on peut donner aux plantes un excès d'engrais phosphatés. L'acide phosphorique n'étant pas enlevé par les eaux de drainage grâce aux propriétés absorbantes du sol, reste emmagasiné dans la terre et sert aux cultures suivantes. En répandant un excès d'engrais phosphaté on s'expose seulement à une dépense inutile.

119. Relation entre la richesse du sol en acide phosphorique et la flore et la faune. — Non seulement la quantité, mais encore la qualité des récoltes est en rapport avec la richesse du sol en acide phosphorique. Il est évident que plus le sol est riche en acide phosphorique, plus les plantes sont riches aussi en cet élément. Or, les matières végétales riches en acide phosphorique et servant à la nourriture des animaux exercent une très heureuse influence sur la croissance de ces animaux.

L'expérience prouve, en effet, que les animaux amenés d'une contrée dont les terres sont riches en phosphates dans une contrée pauvre, dégénèrent rapidement; le contraire se produit lorsqu'on les fait passer d'une alimentation pauvre à une alimentation riche en phosphates.

Les races animales sont fortes, développées, dans les régions riches en acide phosphorique. Le *rachitisme*, au contraire, apparaît dès que le sol est très pauvre en phosphates ou qu'il s'agit d'animaux de grande race mal nourris.

La *précocité* [1] des animaux dépend surtout de la richesse

1. « Les *animaux précoces* sont ceux qui atteignent, avant le temps normal leur maturité, ce qu'on appelle l'état adulte; ceux qui arrivent dans un minimum de temps à la taille qu'ils ne pourront plus dépasser. » (Sanson).

de l'alimentation en albumine et en *acide phosphorique*.

« Tout concourt, dit M. Sanson à faire admettre que, dans la production du phénomène de la précocité, c'est à l'acide phosphorique qu'appartient la fonction principale, non pas seulement au point de vue du développement du système osseux, mais encore à celui de la manifestation des autres attributs des animaux précoces ».

120. Les différents engrais phosphatés employés. — Les différents engrais phosphatés que l'agriculture emploie (voir *Chimie générale*, p. 144), peuvent être classés de la manière suivante au point de vue de leur origine ou de leur formation :

- *Phosphates naturels* ou **phosphates minéraux**.
  - L'*Apatite*.
  - Les *Phosphorites du Lot*.
  - Les *Phosphates en nodules* ou *coprolithes* de la Meuse et des Ardennes.
  - Les *Phosphates arénacés* ou *sables phosphatés*, de la Somme ou du Pas-de-Calais.
  - Les *Craies phosphatées*, de l'Oise et de la Belgique.
  - Les *Phosphates noirs des Pyrénées*.
- *Phosphates d'origine organique* ou **phosphates d'os**.
  - Les *Poudre d'os verts*.
  - Le *Noir animal*
    - Noir de sucrerie.
    - Noir de raffinerie.
- **Phosphates métallurgiques.**
  - **Scories** ou **phosphates de déphosphoration.**
    - *Scories Thomas.*
    - *Scories Martin.*
- *Phosphates ayant subi un traitement chimique.*
  - **Superphosphates ordinaires.**
    - **Minéraux**
      - *Superphosphates provenant d'apatites.*
      - *Superphosphates des phosphorites et nodules.*
      - *Superphosphates des sables et craie phosphatés.*
    - **D'os.**
      - *D'os dégraissés.*
      - *D'os dégélatinés.*
  - *Superphosphates enrichis.*
  - *Phosphates précipités.*
  - *Phosphate ammoniaco-magnésien.* Peu employé.
  - *Phosphate d'ammoniaque.* Peu employé.

I. — PHOSPHATES NATURELS OU PHOSPHATES MINÉRAUX

121. Les principaux phosphates naturels ou phosphates minéraux sont :

L'***Apatite***; c'est du phosphate de chaux cristallisé mélangé avec certaines matières étrangères; il contient de 60 à 79 pour 100 de phosphate de chaux pur. Il est employé à la fabrication des superphosphates. Il est peu répandu en France.

Les **phosphorites du Lot,** de coloration plus ou moins foncée contiennent de 30 à 77 pour 100 de phosphate de chaux.

Les **phosphates en nodules ou coprolithes**; ceux de la Meuse contiennent de 35 à 50 pour 100 de phosphate de chaux pur, ceux des Ardennes 45 à 48 pour 100 accompagnés de carbonate de chaux, d'oxyde de fer et alumine, sables, etc. Ils sont d'un vert grisâtre.

Les **phosphates arénacés ou sables phosphatés** de la Somme, du Pas-de-Calais ; ils sont d'un blanc jaunâtre et contiennent en moyenne 70 pour 100 de phosphate de chaux pur.

Les **craies phosphatées** de l'Oise et de la Belgique qui contiennent de 12 à 35 pour cent de phosphate de chaux.

Les **phosphates noirs** des Pyrénées contiennent de 60 à 75 pour 100 de phosphate de chaux.

Tous ces phosphates minéraux subissent un *traitement mécanique*: ils sont lavés, séchés et subissent une véritable mouture (voir Chimie générale, p. 144). Ils sont vendus dans le commerce sous forme de poudres très fines. Nous verrons que ces phosphates sont d'autant plus efficaces qu'ils sont en poudre plus fine. *Le phosphate de chaux que les phosphates minéraux contiennent est du phosphate tricalcique insoluble dans l'eau, très faiblement soluble dans l'eau chargée d'acide carbonique de même que dans les acides faibles, comme l'acide acétique ou l'acide citrique à 1 ou 2 pour 100.*

122. Les phosphates naturels dans le sol. — ***Transformations générales.*** — 1° ***Action de l'eau et de l'acide carbonique.*** — Les combustions incessantes qui se produisent dans la terre déterminent, ainsi que nous l'avons vu, la formation du gaz carbonique. Ce gaz se dissout dans l'eau et tend ainsi à dissoudre du phosphate de chaux en petite quantité.

La dissolution de phosphate dans l'eau chargée d'acide carbonique est d'autant plus faible que cette eau contient plus de carbonate de chaux. Ainsi, d'après MM. Müntz et Girard, de l'eau chargée d'acide carbonique peut dissoudre $0^{gr},13$ de phosphate de chaux par litre, alors qu'en présence du carbonate de chaux elle n'en dissout plus que $0^{gr},04$.

Les dissolutions d'acide phosphorique, sous forme de phosphates que l'on rencontre dans le sol et que l'on peut obtenir par déplacements, ne contiennent que des quantités faibles d'acide phosphorique très variables d'une terre à l'autre (0^{mmg}, à 3 milligrammes d'acide phosphorique par litre). Mais, ainsi que l'ont démontré les recherches de M. Schlœsing, pour une même terre, ces dissolutions restent constantes, alors même que les plantes absorbent l'acide phosphorique qu'elles contiennent; en d'autres termes, l'acide phosphorique dissous se renouvelle dans les eaux imprégnant une terre à mesure que les racines le consomment.

L'eau ne laisse circuler, il est vrai, que très peu d'acide phosphorique à la fois; mais la circulation est incessante pendant la période de végétation et arrive, ainsi que l'ont montré les expérience de Schlœsing, à fournir une importante quantité d'aliment phosphaté.

Les phosphates apportés par les engrais phosphatés ne peuvent être éliminés par les eaux de drainage.

En effet, les eaux qui circulent dans le sol contiennent très peu d'acide phosphorique, il est tout naturel que les eaux de drainage en contiennent également très peu.

D'ailleurs, la terre contient d'assez fortes quantités d'oxyde de fer et d'alumine qui ont la propriété d'absorber et d'insolubiliser l'acide phosphorique à l'état de phosphates de fer et d'alumine sur lesquels une solution d'acide carbonique a très peu de prise. Ces phosphates de fer et d'alumine presque insolubles peuvent être utilisés par les racines des plantes.

D'après M. Déhérain, les phosphates de fer et d'alumine reviendraient à l'état soluble, grâce à la présence des carbonates alcalins et alcalino-terreux que contiennent les eaux.

2° **Action des acides des racines.** — L'action qu'exercent les racines des plantes sur les phosphates insolubles s'ajoute à l'utilisation des dissolutions faibles d'acide phosphorique qui circulent dans le sol.

Les racines des plantes, grâce aux acides qu'elles contiennent, attaquent les phosphates, ainsi que nous l'avons vu. Si ces acides sont saturés par le carbonate de chaux que peut renfermer le sol, ils ne peuvent plus exercer leur action sur les phosphates. On comprend dès lors pourquoi les phosphates en nodules par exemple, produisent beaucoup moins d'effets dans une terre calcaire que dans une terre non calcaire. *La présence du calcaire retarde donc l'action dissolvante des racines.* C'est ainsi que dans des expériences de Déhérain, portant sur des *lupins*, tant que le calcaire n'a pas gêné l'action des racines, l'assimilation de l'acide phosphorique s'est produite; les lupins ont pu extraire de la terre très pauvre et des phosphates en nodules ajoutés une quantité suffisante d'acide phosphorique. Au contraire, dès que l'on a fait agir du calcaire l'assimilation de l'acide phosphorique a diminué.

Les cultivateurs bretons qui emploient du *noir animal* dans des terres ne contenant pas de calcaire, ont observé ce fait depuis longtemps, et pour caractériser l'effet nuisible de la chaux, ils emploient une expression populaire bien connue; ils disent : « La chaux brûle le noir. »

3° **Action des matières organiques.** — La terre contient des matières humiques constituées soit par les résidus des récoltes,

soit par le fumier, et qui forment avec les éléments nutritifs, les phosphates des engrais phosphatés par exemple, de véritables combinaisons que les plantes peuvent assimiler.

En isolant, en effet, la matière humique on y constate toujours la présence d'acide phosphorique, de chaux, de magnésie, d'oxyde de fer, d'alumine, etc.

L'acide phosphorique y est en quantité très notable. M. Risler a trouvé dans une de ses expériences que $0^{gr},728$ de matière humique avaient pu faire entrer en dissolution dans l'eau $1^{gr},397$ de phosphate de chaux, c'est-à-dire près du double de son poids.

Ainsi que l'a montré M. Grandeau (voir p. 69) les phosphates qui pourraient résister à l'action des racines se laissent dissoudre après leur passage dans la matière humique. Cette matière ferait donc subir aux phosphates « une sorte de digestion préalable qui facilite leur assimiliation ». Des expériences directes effectuées par M. Grandeau ont montré, en effet, que les récoltes utilisent bien mieux les phosphates quand les terres contiennent de l'humus que lorsqu'elles n'en contiennent pas.

123. Conclusions pratiques de ce qui précède — a) *Terres acides.* — Dans les terres acides, telles que les terres de bruyères, de landes, les terres tourbeuses qui contiennent de l'acide humique libre, on constate que les phosphates se solubilisent dans cet acide pour former un véritable superphosphate[1].

« Dans certaines terres acides, il existe, ainsi que Déhérain l'a constaté, des quantités notables d'acides plus énergiques, tels que l'acide acétique, dont le pouvoir dissolvant sur le phosphate de chaux est assez considérable et vient s'ajouter à celui de l'acide humique et de l'acide carbonique. »

Les terres acides ont besoin de chaux pour neutraliser les acides libres et permettre la nitrification (p. 72). Si l'on applique la chaux avant le phosphate, les acides du sol seront neutralisés et les phosphates naturels ne pourront plus être solubilisés. Il faut donc se *garder d'appliquer un chaulage avant ou en même temps qu'un phosphatage.*

b) *Terres argileuses.* — Dans ces terres où l'eau chargée d'acide carbonique circule peu, la transformation du phosphate de chaux est assez lente ; il se forme, au bout d'un certain temps, une combinaison avec l'oxyde de fer et l'alumine (phosphate de fer et d'alumine dont nous avons parlé). Les réactions chimiques des phosphates avec les éléments de l'argile sont peu connues.

---

1. L'acide humique joue alors le même rôle que l'acide sulfurique dans la fabrication des superphosphates.

c) *Terres calcaires.* — Ces terres étant généralement pauvres en matières organiques les transformations des phosphates en produits assimilables y sont lentes, aussi les phosphates naturels y réussissent peu.

d) *Terres sablonneuses.* — Contenant peu d'humus, les phosphates naturels y donnent également peu de bons résultats.

Épandage des phosphates naturels. — Les phosphates naturels, étant insolubles ou très légèrement solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique, peuvent se conserver longtemps dans le sol sans être entraînés par les eaux de drainage comme certains engrais azotés, le nitrate de soude par exemple. On peut donc les incorporer à la terre soit avant, soit après l'hiver, quels que soient les sols et quels que soient les climats.

Les phosphates naturels mis dans les terres acides (terres tourbeuses, terres de landes, vieilles prairies, etc.), peuvent se transformer, comme nous l'avons vu, en véritables superphosphates et agir sur les récoltes dans l'année de leur enfouissement, même quelquefois répandus au printemps. Dans les terres ordinaires, les phosphates naturels sont répandus généralement à l'automne; ils agissent beaucoup plus lentement, leur action se fait peu sentir sur la première récolte, elle ne devient sensible que sur la seconde et quelquefois sur la troisième. « Les résultats cependant, pour être lents, n'en sont pas moins certains; ils sont moins apparents que ceux que l'on obtient avec les engrais azotés, mais ils s'échelonnent pour ainsi dire sur une longue série de récoltes. »

On peut donc conseiller l'emploi de fortes doses de phosphates :

« Il est préférable d'apporter tout d'un coup l'acide phosphorique nécessaire à une suite de cultures que de fractionner sa distribution. Lorsqu'on a reconnu la nécessité de l'acide phosphorique dans un terrain on peut, sans hésiter, porter les doses à 1000 et 1500 kilogrammes de phosphate naturel représentant un apport de 200 à 300 kilogrammes d'acide phosphorique[1]. »

Les phosphates naturels gagnent à être répandus à l'avance, non seulement à cause de la préparation lente qu'ils vont subir dans le sol, mais aussi au point de vue de la répartition et de la diffusion, que les façons culturales répétées sur une série de cultures augmentent dans de larges proportions. Il est préférable, quand on le peut, étant données l'insolubilité ou la faible solubilité des phosphates naturels, de les semer en deux parties : une moitié sera enfouie par un labour profond; la seconde par un

---

1. D'après MM. Müntz et Girard.

coup de charrue ou de scarificateur donné superficiellement, perpendiculairement au premier labour, afin que le phosphate se mélange aussi intimement que possible à la terre.

124. Comparaison des phosphates naturels entre eux. — ***Degré de division des phosphates.*** — Les phosphates naturels agissent d'autant mieux qu'ils sont en particules plus fines, qu'ils sont plus divisés. A l'état de fragments grossiers leur utilisation est sensiblement nulle.

Plus les phosphates sont divisés, plus évidemment les points de contact avec les principes dissolvants du sol et des racines sont nombreux. L'expérience montre, en effet, que la solubilité des phosphates est proportionnelle aux surfaces que ces phosphates présentent :

MM. Barral et Menier ont mis en contact, avec de l'eau saturée de gaz carbonique, du phosphate des Ardennes découpé en cubes de dimensions décroissantes et ont obtenu les résultats suivants au bout d'une heure de contact :

	Parties dissoutes.	Acide phosphorique dissous.
Cubes de 3 millimètres de côté. .	4 milligrammes.	2 milligrammes.
— 2 — —	11 —	5 —
— 1 — —	48 —	25 —
Farine impalpable.	81 —	42 —

Des expériences nombreuses sur des échantillons de phosphates différents montrent que, quelle que soit leur origine géologique, *les phosphates sont d'autant plus attaqués qu'ils sont réduits en poudre plus fine*. Il est évident que l'utilisation agricole de ces phosphates est proportionnelle à leur solubilité et par conséquent à leur degré de finesse.

La pulvérisation des phosphates est obtenue par une véritable mouture et par un blutage (tamisage).

Pour se rendre compte de la finesse des phosphates on les fait passer à travers des tamis dont les mailles sont plus ou moins écartées : on admet généralement qu'un phosphate naturel doit passer dans la proportion de 80 pour 100 à travers les toiles métalliques du tamis n° 150[1].

Résistance des différents phosphates aux agents dissolvants . — On a remarqué que les phosphates les plus riches, les apatites par exemple, sont en général ceux qui résistent le plus aux agents dissolvants. Mais, font remarquer MM. Müntz et Girard, on voit aussi des phosphates pauvres tels que les craies phosphatées, se comporter dans le sol d'une manière peu différente de celle des phosphates compacts tels que les apatites.

1. Le numéro du tamis indique le nombre de fils par pouce linéaire.

En réalité, le mécanisme de la dissolution des phosphates est peu connu. On a essayé de mesurer leur assimilabilité avec des réactifs divers (eau chargée d'acide carbonique, acides acétique, citrique, oxalique, oxalate d'ammoniaque); mais les résultats donnés par ces réactifs n'ont pas toujours été confirmés par les résultats culturaux.

Conclusions pratiques. — *Les phosphates cristallisés tels que les apatites*, résistant à l'action des dissolvants chimiques, ne donnent pas de résultats avantageux quand on les emploie directement en culture. Comme ils sont assez purs, il est tout indiqué de les employer dans la fabrication des superphosphates. C'est d'ailleurs ce que l'on fait.

Les *phosphates en nodules* (de la Meuse, des Ardennes) sont considérés comme les meilleurs phosphates, à richesse égale en acide phosphorique. Ils sont beaucoup plus facilement attaqués par les réactifs chimiques, leur texture est poreuse; réduits en poudre fine, ils absorbent l'humidité et sont facilement attaquables par les agents dissolvant du sol.

M. Déhérain a observé que la poudre de nodules récemment obtenue, dosant environ 4 pour 100 d'humidité et 0,25 de phosphate soluble dans l'acide acétique, contenait, après trois mois d'exposition à l'air, près de 18 pour 100 d'eau et 5 pour 100 d'acide phosphorique soluble dans l'acide acétique.

Quant aux autres phosphates naturels, tels que *phosphorites du Lot*, *phosphates arénacés*, *craies phosphatées*, à finesse égale, leur valeur est à peu près proportionnelle à leur richesse en acide phosphorique. De plus, pour un même phosphate, la valeur des différents échantillons est proportionnelle à leur finesse.

II. — LES PHOSPHATES D'OS

125. Les phosphates d'os que livre le commerce sont les suivants :

Les ***poudres d'os dégraissés*** : elles proviennent d'*os bruts* ou *os verts* que l'on n'emploie généralement pas en agriculture à cause de la forte proportion de graisse (0 à 12 pour 100) qu'ils renferment. Ces os bruts sont dégraissés par l'eau bouillante ou par un dissolvant (sulfure de carbone, benzine) puis réduits en poudre fine. Ils contiennent de 24 à 25 pour cent d'acide phosphorique et 3 à 4 pour cent d'azote.

Les ***poudres d'os dégélatinés***. — Elles proviennent d'os dégraissés dont on a enlevé la matière organique (osséine) pour en faire de la gélatine (voir chimie générale p. 145) Elles contiennent de 60 à 70 pour 100 de phosphate de chaux, correspondant à 27,5 à 29,8 d'acide phosphorique. Toutes ces poudres d'os sont beaucoup falsifiées; il faut toujours exiger une garantie.

Les ***cendres d'os***. — Elles proviennent d'ossements fossiles accumulés dans les *crevasses*, les brèches et que l'on a réduit en cendres. Elles contiennent en moyenne de 72 à 75 pour 100 de phosphate de chaux.

Le ***noir animal.*** — Le noir animal est le produit que l'on obtient en calcinant des os en vase clos (voir chimie générale, p. 89). Le noir animal, après avoir servi à la clarification des jus sucrés en sucrerie et en raffinerie, est employé comme engrais phosphaté. De là :

Le *noir de sucrerie* contenant 65 à 75 pour 100 de phosphate de chaux.

Le *noir de raffinerie* contenant de 44 à 73 pour 100 de phosphate de chaux.

Le noir animal employé en agriculture subit fréquemment des falsifications : on y ajoute des charbons tamisés, de la tourbe, des argiles noircies, du terreau, etc. On est allé jusqu'à noircir des phosphates naturels, pour les faire passer comme noirs d'os et les vendre au même prix. « De véritables usines, disent MM. Müntz et Girard, se sont installées en vue de ces falsifications. »

Les phosphates d'os comme les phosphates minéraux ne contiennent l'acide phosphorique qu'à l'état de *phosphate tricalcique insoluble dans l'eau, très faiblement soluble dans l'eau chargée d'acide carbonique de même que dans les acides faibles, comme dans l'acide acétique ou l'acide citrique à 1 ou 2 pour 100.*

126. Les phosphates d'os dans le sol. — Les phosphates d'os ont une texture poreuse qui leur permet de subir leurs *transformations dans le sol* plus facilement que les phosphates minéraux. De plus, ils contiennent tous plus ou moins d'azote dont il faut tenir compte dans leur utilisation agricole.

Leur action sur les cultures est généralement plus rapide que celle des phosphates minéraux ; aussi leur prix est-il plus élevé.

Faut-il préférer les phosphates d'os aux phosphates minéraux? Cela dépend de la nature du sol sur lequel on les emploie, surtout étant donné leur prix plus élevé.

Dans les terres de défrichement des landes de Bretagne, par exemple, lorsqu'on ne connaissait pas l'emploi des phosphates minéraux, le noir d'os ou (noir animal) était très employé et donnait d'excellents résultats. Plus tard, les agriculteurs ont reconnu que les phosphates en nodules (poudres de nodule) produisent des effets analogues.

Dans tous les sols riches en matières organiques (terres acides, tourbeuses, terres de landes, etc.), en effet, les phosphates minéraux pouvant être presque transformés en superphosphates, et par conséquent être plus rapidement utilisés, il est inutile d'employer des phosphates d'os, il est préférable d'utiliser les phosphates minéraux qui coûtent moins.

Dans les sols pauvres en matières organiques, tels que les sols très calcaires, ainsi que les sols très légers où les phosphates naturels ne produisent que peu d'effets, l'emploi des phosphates d'os est préférable.

Cependant, si les sols ne sont pas très pauvres en acide

phosphorique et que l'on veuille constituer un stock d'acide phoshorique utilisable graduellement, on peut employer les phosphates minéraux. La quantité qu'on peut incorporer à la terre pour le même prix, étant beaucoup plus grande, compense dans une certaine mesure leur plus lente assimilation.

III. — LES SCORIES DE DÉPHOSPHORATION

127. Nous avons vu que les scories de déphosphoration sont un résidu de la fabrication de l'acier et du fer doux ; elles résultent de la déphosphoration des fontes provenant du traitement des minerais de fer phosphoreux (voir Chimie générale, p. 163).

La richesse en acide phosphorique des scories varie avec la teneur des fontes en phosphore et avec la marche des appareils.

D'après M. Grandeau, les limites de variations de leur composition sont les suivantes :

Acide phosphorique	8,0 à 24,0	pour 100.
Chaux	34,0 à 55,0	—
Magnésie	3,0 à 20,0	—
Silice	3,0 à 15,0	—
Protoxyde de manganèse	4,0 à 8,0	—
Protoxyde de fer	12,0 à 22,0	—
Soufre	0,2 à 0,6	—
Alumine	1,0 à 12,0	—

Comme on le voit, les scories ont une composition assez complexe. C'est l'acide phosphorique qu'elles contiennent qui en fait la valeur agricole et qui sert de base pour l'évaluation de leur prix. Néanmoins, la forte proportion de chaux vive qu'elles renferment prend une certaine importance et leur donne une valeur plus grande dans les sols pauvres en calcaires, comme dans les terrains granitiques, par exemple. La magnésie peut également jouer un certain rôle.

Le phosphate des scories, comme nous l'avons vu, est un phosphate d'une nature particulière différent du phosphate tricalcique des os et des phosphates minéraux. C'est un phosphate tétracalcique rapidement soluble dans les acides faibles : dans le réactif de Wagner (solution à 1,5 pour 100 d'acide citrique).

La nature spéciale du phosphate des scories et sa grande solubilité dans les acides faibles permettent de comprendre pourquoi les scories de déphosphoration, ainsi que le montrent les expériences culturales, sont d'une bien plus grande efficacité que les phosphates naturels.

Nous avons vu que les scories de déphosphoration peuvent être obtenues par deux procédés (voir Chimie générale, p. 164).

Le **procédé Thomas Gilchrist**; la déphosphoration de l'acier a lieu dans un convertisseur Thomas. Les scories obtenues portent le nom de Scories-Thomas.

Le **procédé Martin**; la déphosphoration de l'acier a lieu dans un four Siemens à sole basique. Les scories obtenues portent le nom de *Scories-Martin*.

Les *Scories-Thomas* de différentes provenances n'ont pas toutes la même valeur. Les Scories-Thomas et les Scories-Martin, au point de vue agricole, sont loin de donner les mêmes résultats.

Comment on apprécie la qualité des scories au point de vue agricole. — La pratique a montré que la *valeur agricole des scories de déphosphoration dépend à la fois de sa solubilité dans le réactif de Wagner et de sa finesse.*

Ce serait une erreur de croire que l'efficacité relative des différentes scories est en raison directe seulement de la finesse de mouture. La solubilité dans le réactif de Wagner joue surtout le principal rôle. Plus une scorie est soluble dans ce réactif, plus elle est efficace, plus elle agit rapidement et complètement.

Les *Scories-Thomas pures* ont généralement une solubilité plus forte que 75 pour 100 et atteignent parfois 90 pour 100.

Les *Scories-Martin* ont une solubilité généralement inférieure à 75 pour 100. Les phosphates minéraux dont nous avons parlé plus haut sont presque insolubles.

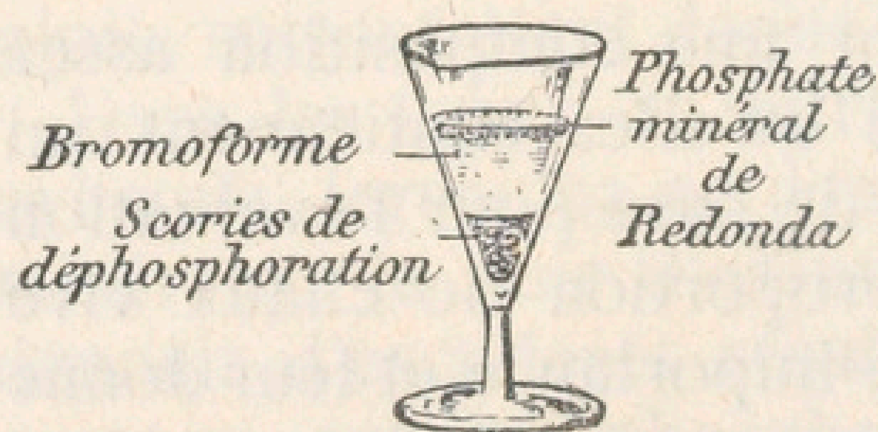


FIG. 41. — COMMENT ON RECONNAIT LES MÉLANGES DE SCORIES AVEC LES PHOSPHATES MINÉRAUX.

Les scories plus denses, tombent au fond du bromoforme, les phosphates minéraux restent à la surface.

Les Scories-Martin ayant une valeur agricole moindre que les Scories-Thomas, il arrive assez souvent que les deux produits sont mélangés pour en diminuer le prix et réaliser dans la vente de plus gros bénéfices.

On *falsifie les scories* en les mélangeant avec des phosphates minéraux ou le phosphate de Redonda (phosphate d'alumine), produits ayant beaucoup moins de valeur que les scories. La fraude se reconnaît assez facilement à l'aide du bromoforme (fig. 41) : la poudre de scories étant très dense tombe au fond du liquide tandis que les phosphates minéraux restent à la surface. Le meilleur moyen de reconnaître la fraude est encore d'employer la solubilité dans le réactif Wag-

ner. Cette solubilité permet non seulement de reconnaître les phosphates minéraux, mais aussi les bonnes scories.

Pour avoir de bonnes Scories-Thomas, le cultivateur doit exiger *à la fois les garanties* suivantes :

1° Une finesse de mouture *minimum* de 75 pour 100, la poudre obtenue passant à travers les mailles du tamis n° 100 distantes de $0^{mm},17$.

2° Une solubilité dans le réactif Wagner d'*au moins* 75 pour 100 de l'acide phosphorique total; on peut même exiger de 80 à 90 pour 100.

3° Une garantie d'origine.

Sur l'emploi des scories. — Les scories ne doivent-elles pas leur action en partie à la chaux qu'elles contiennent?

« M. Petermann a constaté que, dans les sols ordinaires même pauvres en calcaire, c'est bien l'acide phosphorique qui agit, mais dans le cas des terres acides très chargées de matières organiques, dans les sols tourbeux, dans les prairies marécageuses, les deux éléments concourent à l'amélioration foncière et c'est alors que les scories produisent les effets les plus remarquables. On est ainsi arrivé, à la station expérimentale des tourbes à Brême, à obtenir par son emploi direct des surcroîts de rendement s'élevant parfois à 78 pour 100. »

On a parfaitement constaté en Bretagne que sur les terres pauvres en calcaires où les phosphates en nodules ne produisent aucun effet utile, les scories donnent d'excellents résultats.

Ainsi donc, les scories réussissent très bien dans les sols pauvres en calcaire et en acide phosphorique.

On aurait tort cependant de les écarter systématiquement, comme on l'a fait souvent, des terres plus ou moins riches en calcaires où l'on pensait qu'elles seraient inefficaces :

De bons résultats, dit Déhérain, ont été obtenus dans une prairie du Tarn, établie sur un sol calcaire, qui donnait seulement 2700 kilogrammes de foin; cette prairie a fourni 2750 kilogrammes de fourrage avec 600 kilogrammes de scories et 4600 kilogrammes de fourrage avec 1000 kilogrammes de scories.

Sur du sainfoin, qui, comme on le sait, est la légumineuse du calcaire, la récolte sans engrais étant de 2750 kilogrammes de foin est montée à 4500 kilogrammes quand on a employé 500 kilogrammes de scories.

500 kilogrammes de scories plus 200 kilogrammes de potasse ont donné 5800 kilogrammes de foin.

500 kilogrammes de superphosphate plus 200 kilogrammes de potasse ont donné 5350 kilogrammes de foin.

On peut donc dire que les scories peuvent agir dans tous les sols et sur toutes les récoltes. C'est aux agriculteurs à faire de petits essais préalables pour être fixés sur la valeur de leurs effets.

IV. — LES PHOSPHATES AYANT SUBI DES TRAITEMENTS CHIMIQUES

128. ***Les phosphates ayant subi un traitement chimique*** sont les suivants :

Les **superphosphates ordinaires.** — *On les obtient en faisant agir de l'acide sulfurique sur les phosphates naturels ou minéraux* (voir fabrication, chimie générale, p. 147). On distingue :

1° *Les superphosphates provenant d'apatites* ne contenant presque que de l'acide phosphorique soluble dans l'eau.

2° *Les superphosphates provenant des phosphorites et des nodules*, contiennent de 10 à 16 pour 100 d'acide phosphorique soluble à l'eau et au citrate dont trois quarts solubles à l'eau.

3° *Les superphosphates provenant des sables et craies phosphatées* contiennent de 17 à 19 pour 100 d'acide phosphorique soluble à l'eau et au citrate.

4° *Les superphosphates d'os bruts ou d'os dégraissés*, contiennent de 12 à 14 pour 100 d'acide phosphorique soluble à l'eau et au citrate.

5° *Les superphosphates d'os dégélatinés*, contiennent 0,5 à 0,6 pour 100 d'azote et 16 à 18 pour 100 d'acide phosphorique soluble à l'eau et au citrate, dont 2/3 soluble à l'eau.

6° Les superphosphates du noir animal contiennent de 15 à 18 pour 100 d'acide phosphorique soluble dans l'eau et dans le citrate.

Les **superphosphates enrichis.** — On les obtient comme les superphosphates ordinaires, mais en remplaçant *l'acide sulfurique* par de *l'acide phosphorique* (voir Chimie générale, p. 149). Ils contiennent jusqu'à 30 à 35 pour 100 d'acide phosphorique soluble.

Les **phosphates précipités.** — On les obtient en faisant agir de l'acide chlorhydrique sur les os, puis un lait de chaux pour former un précipité de *phosphate bicalcique* insoluble dans l'eau mais soluble dans le citrate d'ammoniaque. Ils contiennent en moyenne de 36 à 42 pour 100 d'acide phosporique dont la plus grande partie est soluble en citrate.

Le *phosphate ammoniaco-magnésien.* — Il peut contenir jusqu'à 50 pour 100 d'acide phosphorique et près de 10 pour 100 d'azote ammoniacal. Il est peu employé.

Le *phosphate d'ammoniaque* est également peu employé.

129. Les superphosphates et les phosphates précipités dans le sol. — Transformations générales. — Nous avons vu que les superphosphates contiennent généralement[1] :

---

1. Voir page 146. *Notions de chimie générale appliquée à l'agriculture.*

1° Du *phosphate monocalcique* soluble dans l'eau; c'est celui qui a le plus de valeur.

2° Du *phosphate bicalcique* ainsi que des *phosphates de fer* et d'*alumine* insolubles dans l'eau, mais solubles dans le citrate d'ammoniaque; le phosphate bicalcique a une valeur commerciale très légèrement moindre que le phosphate monocalcique.

3° Du *phosphate tricalcique* insoluble dans l'eau, et dans le citrate d'ammoniaque.

Que deviennent ces différents phosphates dans le sol?

Le *phosphate monocalcique*, comme l'*acide phosphorique* libre que l'on rencontre dans les superphosphates, étant soluble dans l'eau, se dissout immédiatement dans les liquides du sol. Rencontrant dans la terre de la chaux sous forme de calcaire, de l'oxyde de fer et de l'alumine et aussi de l'humus il s'unit rapidement à eux pour former des composés insolubles dans l'eau ou très faiblement solubles. C'est ce qui explique pourquoi on ne rencontre pas, dans les eaux de drainage, de l'acide phosphorique sous forme de phosphates alors que le superphosphate contient du phosphate monocalcique soluble dans l'eau.

M. Heyden a fait passer à travers des sols différents des solutions de phosphate en quantité relativement grande, par rapport au poids de la terre mise en expérience.

En examinant les liquides filtrés, il a trouvé que les différentes terres ont retenu, à l'état insoluble, pour 100 de l'acide de l'acide phosphorique donné :

Terre A.	95,84
— B.	98,24
— C.	96,79
— D.	98,76

Les pertes dans l'eau filtrée représentant l'eau de drainage sont très-faibles.

Il est utile que l'acidité du phosphate monocalcique et de l'acide phosphorique libre soit neutralisée, non seulement pour éviter des déperditions dans les eaux de drainage, mais aussi parce que cette acidité est un véritable poison pour les plantes. On a constaté, en effet, que dans les terres tourbeuses ou acides, le superphosphate, ne pouvant neutraliser son acidité, agit comme un poison sur les végétaux. Il est bon même de ne répandre le superphosphate que quelque temps avant les semailles pour que son acidité n'agisse pas sur les semences.

« Quoique le phosphate monocalcique soit au bout de très peu de temps engagé dans les mêmes combinaisons que les phosphates naturels, il se distingue de ces derniers en ce qu'il a pu, avant de se fixer à l'état insoluble, se répartir dans tous les sens autour des particules terreuses, s'y diffuser à un état

manifestement assimilable, auquel le phosphate naturel n'arrive qu'au bout d'un temps très long[1]. »

Le phosphate monocalcique est considéré comme ayant le plus de valeur au point de vue agricole.

Le *phosphate bicalcique*, les *phosphates de fer et d'alumine* sont insolubles dans l'eau, mais solubles dans le citrate d'ammoniaque. Ils sont plus assimilables par les plantes que le phosphate tricalcique des phosphates naturels, lequel n'est pas soluble dans le citrate. De nombreuses expériences ont, en effet, démontré qu'ils ont une valeur nutritive pour les plantes *à peu près* égale à celle du phosphate monocalcique. C'est pour cette raison que l'acide phosphorique du phosphate bicalcique, que l'on appelle encore *acide phosphorique rétrogradé*, a une valeur commerciale à peu près égale à celle de l'acide phosphorique du phosphate monocalcique (voir Chimie générale, rétrogradation, p. 147).

Le phosphate bicalcique, les phosphates de fer et d'alumine entrent facilement, avec les matières humiques, dans ces combinaisons dont nous avons parlé (p. 164) et qui facilitent leur assimilation par les plantes.

Quant au phosphate tricalcique, il est insoluble dans l'eau, il ne subit pas de transformations.

Les *phosphates précipités* subissent dans le sol des transformations analogues à celles des superphosphates. Il est bon cependant de remarquer qu'ils ne renferment pas, comme les superphosphates, du phosphate monocalcique soluble dans l'eau, mais simplement du phosphate bicalcique soluble dans le citrate avec un peu de phosphate tricalcique.

130. Conclusions pratiques de ce qui précède. — Dans les *terres sableuses* contenant des carbonates de chaux et de magnésie, dans les *terres calcaires*, l'acidité des superphosphates est neutralisée; dans les *terres argileuses*, l'acide phosphorique libre ou le phosphate monocalcique des superphosphates peuvent se combiner avec l'oxyde de fer et l'alumine qu'elles contiennent en abondance. Donc, dans toutes ces terres on peut employer le superphosphate. Il n'en est pas de même pour les *terres acides*: dans celles-ci l'acidité du superphosphate s'ajoute à celle du sol et peut exercer des effets nuisibles sur les récoltes. Il vaut mieux employer des scories de déphosphoration dont la chaux diminue cette acidité.

Épandage. — Les phosphates ayant subi des traitements chi-

1. D'après MM. Müntz et Girard.

miques donnent des produits insolubles dans l'eau lorsqu'ils sont mis dans le sol; on peut les confier à la terre longtemps avant leur utilisation par les plantes sans crainte de déperditions.

Pour les céréales d'hiver, on répand les engrais phosphatés à l'automne; pour les plantes sarclées, semées au printemps, on les répand au moment du labour précédant la semaille.

Doses à employer. — Dans le cas des engrais phosphatés à action rapide, tels que les superphosphates et les scories, l'excès de fumure ne donne pas, comme les engrais azotés solubles (nitrate de soude ou sulfate d'ammoniaque), des pertes dans les eaux de drainage et n'exerce pas une action nuisible sur les récoltes.

Mélange avec les engrais. — On peut mélanger sans inconvénients le superphosphate avec tous les engrais, sauf avec le nitrate de soude. Ce dernier peut être, en effet, décomposé par l'acidité du superphosphate et laisser dégager de l'azote. La perte d'azote ne peut exister que si le contact est assez prolongé, elle n'existe pas si le mélange est aussitôt répandu.

131. Comparaisons entre les différents phosphates ayant subi des traitements chimiques. — 1° ***Comparaisons entre les superphosphates minéraux et d'os.*** — De nombreuses expériences culturales ont montré que le phosphate monocalcique (soluble dans l'eau et dans le citrate d'ammoniaque) et le phosphate bicalcique ou rétrogradé (soluble seulement dans le citrate) que l'on trouve dans les superphosphates ont une même valeur agricole.

Aussi, a-t-on attribué à ces deux formes de l'acide phosphorique la même valeur marchande, en spécifiant parfois dans les achats que les trois quarts ou les deux tiers de l'acide phosphorique soluble au citrate doivent être solubles dans l'eau.

Il est rare d'ailleurs que la rétrogradation dont nous avons parlé (Chimie générale, p. 146) puisse transformer en phosphate bicalcique plus d'un tiers du phosphate monocalcique qui existait seul primitivement dans le superphosphate.

« En somme, les différents superphosphates peuvent être regardés, à égalité d'acide phosphorique modifié par les acides et par suite soluble dans le citrate, comme ayant une valeur fertilisante et commerciale sensiblement égale, cependant avec une légère plus-value pour les produits qui contiennent le moins d'acide phosphorique rétrogradé.

« L'agriculteur qui achète des superphosphates n'a donc pas à s'inquiéter outre mesure de leur origine ; le traitement les a

amenés tous (à part le superphosphate provenant des apatites) à une forme à peu près identique. » (Müntz et Girard).

Les superphosphates provenant des os se différencient un peu des superphosphates précédents en ce qu'ils contiennent de l'azote. La valeur de cet azote s'ajoute évidemment à celle de l'acide phosphorique.

Les superphosphates enrichis (voir Chimie générale, p. 149) ne se différencient des superphosphates minéraux ordinaires que parce qu'ils sont plus riches en acide phosphorique (30 à 35 pour 100 d'acide phosphorique soluble) et qu'ils peuvent, pour un même taux d'acide phosphorique, supporter des frais de transport moins élevés.

2° **Comparaison entre les superphosphates ordinaires (minéraux ou d'os) et les phosphates précipités**[1]. — D'après Pétermann, l'acide phosphorique des phosphates précipités (insoluble dans l'eau, mais soluble dans le citrate d'ammoniaque) possède, au point de vue agricole, la même valeur que l'acide phosphorique du superphosphate de chaux soluble dans l'eau.

Dans ses études agronomiques, M. Grandeau dit : « Depuis plus de dix ans, me basant sur les faits constatés par une longue série d'expériences culturales, j'ai été conduit à assigner une valeur agricole égale à l'acide phosphorique soluble dans l'eau et à l'acide dit précipité. »

« On a souvent admis que les superphosphates sont nuisibles à la végétation lorsqu'on les donne à des terres acides dont ils augmentent encore l'acidité par celle qui leur est propre ; beaucoup d'observations confirment cette manière de voir. Les phosphates précipités, constitués essentiellement par du phosphate bicalcique et n'ayant aucune réaction acide, seraient plus susceptibles d'être employés dans des terres de ce genre où ils ne sauraient produire un effet défavorable, mais la considération de prix doit encore les faire rejeter de l'application à de pareils sols. » (Müntz et Girard.) Donc, dans ce cas, il vaut encore mieux employer des scories de déphosphoration.

Il est bon de remarquer que les superphosphates contiennent toujours un peu de sulfate de calcium ou plâtre provenant de l'action de l'acide sulfurique employé dans la fabrication, alors que les phosphates précipités n'en contiennent pas. Dans les terres où manque l'acide sulfurique, l'application des superphosphates correspond à un plâtrage à petite dose, tandis que les phosphates précipités n'exercent aucune action de ce genre.

---

1. Voir ce que c'est qu'un phosphate précipité, p. 172.

V. — COMPARAISONS ENTRE LES DIFFÉRENTES CATÉGORIES D'ENGRAIS PHOSPHATÉS

Les engrais phosphatés ne se comportent pas de la même manière dans tous les terrains.

Néanmoins, si l'on considère l'ensemble des terrains, les nombreuses expériences culturales ont démontré qu'au point de vue agricole, les engrais phosphatés peuvent être classés de la manière suivante (par ordre de valeur) :

1re Catégorie.

Superphosphates, scories de déphosphoration, phosphates précipités.

Ces trois engrais phosphatés ont à peu près la même valeur agricole.

2e Catégorie.

Phosphates naturels ou phosphates minéraux.	Phosphates d os.

Ces engrais ont une valeur agricole bien moindre que celle des engrais phosphatés de la première catégorie. Aussi quelques agronomes conseillent-ils de ne les employer que dans des cas très restreints :

Déhérain recommande de les employer (surtout la poudre de nodule et le noir animal) dans les terres riches en matière organique (nous avons vu pourquoi, page 167). Et encore dans ce cas les scories sont le plus souvent préférables.

M. Smetz va plus loin ; à la suite de nombreuses expériences, il conclut : « Dans la culture normale, pour la fertilisation des terres devant porter des récoltes variées, l'emploi du phosphate minéral est absolument à déconseiller. »

Sans être aussi catégorique, nous pouvons dire qu'au point de vue économique, à part quelques cas particuliers (terres de défrichement, par exemple), la première catégorie d'engrais (superphosphates, scories de déphosphoration, phosphates précipités) est préférable.

M. Garola, à la suite de cent trente-trois expériences, dans des terres formées par le limon quaternaire, l'argile à silex, l'argile plastique ou les sables du Perche, émet les conclusions suivantes :

1° Les *superphosphates*, les *phosphates précipités* et les *scories* sont, en général, les engrais phosphatés les plus économiques ;

2° Leur efficacité, à égalité d'acide phosphorique, est de trois à quatre fois plus grande que celle des phosphates[1] ;

3° Toutefois, quand, par hasard, ces sols sont très fortement enrichis de matières organiques, les phosphates ont une action presque égale, quoique un peu inférieure, à celle des superphosphates ;

4° Les scories de déphosphoration sont aussi favorables que les superphosphates minéraux ;

5° La durée des engrais phosphatés, même solubles à l'eau, employés à haute dose, est de plusieurs années. Leur effet économique est loin d'être épuisé par la première récolte, de sorte que, pour les juger, il convient de considérer toutes les plantes de la rotation[2].

Ainsi donc, le superphosphate, les scories et les phosphates précipités sont les engrais phosphatés qui ont le plus de valeur. Comme le commerce ne livre que des quantités assez faibles de phosphates précipités, il ne reste en présence que les deux premiers engrais.

Lequel de ces deux engrais faut-il employer ? Scories ou superphostates ?

Beaucoup d'agriculteurs pensent que les scories, étant basiques, doivent être employées seulement dans les terres acides, alors que les superphosphates, étant acides, doivent être employés dans les terres calcaires et argileuses.

Il y a dans ce raisonnement un certain fond de vérité ; on aurait tort cependant de généraliser, car des expériences culturales ont montré que les scories sont souvent efficaces dans les terres calcaires, alors que, dans certains sols acides, le superphosphate donne de meilleurs résultats.

Après des essais comparatifs d'une durée de dix ans, M. Colomb-Pradel, directeur de la Station agronomique de Nancy, conclut que la préférence devra être donnée aux scories pour tous les sols peu calcaires. « On devra tenir compte, dit-il, dans le choix de l'engrais, non seulement de la teneur du sol en calcaire, mais encore de sa richesse en matière azotée, car il est constant que les scories, par l'action nitrifiante qu'elles ont sur ces sols, produisent des résultats tout à fait surprenants là où les superphosphates ne donnaient que peu d'effets. Les résultats obtenus dans des prairies sont frappants à cet égard. »

---

1. Phosphates naturels ou minéraux.
2. C'est-à-dire toutes les récoltes qui se succèdent pendant la durée de solement.

A la suite d'expériences poursuivies pendant cinq ans dans un sol sablo-argileux très peu calcaire et moyennement riche en matières organiques, M. Garola, directeur de la Station agronomique de Chartres, constate « que les scories sont les engrais phosphatés les plus économiques, puisque, douées d'une efficacité presque égale, elles coûtent presque moitié moins que les superphosphates ».

Quelques agronomes prétendent que le superphosphate détermine souvent une croissance plus hâtive, qu'il lance mieux la végétation au début. « Certaines plantes, pendant la première période de végétation, dit M. Smetz, la betterave notamment, même le navet, semblent absorber plus facilement l'acide phosphorique du superphosphate. Ces faits ont été constatés dans la grande culture, comme dans les essais scientiques. » Aussi l'emploi simultané du superphosphate et des scories semble être le plus rationnel dans certaines circonstances.

Stutzer recommande de donner l'acide phosphorique sous les deux formes : trois parties de scories pour une de superphosphate ; ce dernier servira surtout à l'alimentation de la jeune plante[1]. Dans le même but on donne quelquefois au sol, en automne ou en hiver, des scories de déphosphoration ; puis au printemps on applique encore 200 à 300 kilogrammes de superphosphate de chaux avec la première dose de nitrate de soude. Cette manière de procéder nous paraît inutile, l'emploi des scories seules, *à l'automne*, suffit.

Quoi qu'il en soit, il est bon de remarquer que « la valeur d'un engrais ne peut être évaluée d'après son action immédiate[2] ; il faut tenir compte de la persistance de son action sur les récoltes suivantes. Or, les expériences de laboratoire, comme les constatations de la pratique agricole, confirment sous ce rapport l'équivalence de l'unité phosphorique sous forme de scories Thomas et de superphosphate » (Smetz).

---

1. Ce procédé n'est à employer d'ailleurs que dans le cas où l'on ne pourrait épandre les engrais qu'au printemps ; si cet épandage peut être effectué en automne, ce qui est à conseiller, l'application simultané des deux engrais est inutile.

2. Il en est particulièrement ainsi pour les scories dont l'action peut être parfois retardée dans certains sols calcaires ou trop secs et qui manifestent ensuite leur efficacité sur les récoltes successives de plusieurs années.

CHAPITRE XXII

LES ENGRAIS POTASSIQUES

133. Comment on reconnaît qu'une terre a besoin d'engrais potassiques — 1° ***Par l'analyse chimique.*** — Nous avons vu (page 83) qu'une terre est considérée comme ayant une richesse satisfaisante en potasse lorsqu'elle contient 2 grammes de potasse *totale* pour 1 000 grammes de terre ou 0 gr. 3 de potasse soluble dans l'acide azotique faible par kilogramme.

« Bien des terres désignées par l'analyse chimique comme étant riches en potasse *totale* sont cependant fort sensibles aux engrais potassiques[1] » C'est qu'en effet, toute la potasse *totale* n'est pas assimilable par les plantes, elle ne comprend qu'une quantité plus ou moins variable de potasse assimilable utilisée par les végétaux.

Ainsi que nous l'avons fait remarquer (page 85), lorsque l'analyse chimique indique une quantité de potasse *faible*, c'est-à-dire considérée comme appartenant à une terre pauvre, on est certain que cette terre a besoin d'engrais potassiques : lorsqu'au contraire l'analyse indique que la terre est suffisamment riche en potasse totale, comme cette potasse peut ne pas être assimilable, il est toujours prudent de contrôler les résultats d'analyse par des essais directs de culture.

2° ***Par l'aspect des récoltes.*** — Il est beaucoup plus difficile de se rendre compte de la pauvreté du sol en potasse que de celle en azote par l'aspect des récoltes. On peut néanmoins se servir de certaines indications qui ne sont pas sans valeur.

Les recherches de Wilfarth ont montré que le manque de potasse provoque dans les parties végétatives des plantes des modifications assez caractéristiques ; les feuilles de pommes de terre, du tabac, du sarrazin et de betteraves se couvrent de taches. Certaines parties bien délimitées et plus particulièrement les bords des feuilles deviennent jaunâtres et meurent tandis que le reste des feuilles conserve sont aspect ordinaire. Les pointes

---

1. M. Lagatu, professeur de chimie à l'École nationale d'agriculture de Montpellier.

des feuilles de l'avoine, par exemple, deviennent jaunes, puis brunes, enfin toute la feuille se dessèche. Les feuilles de la betterave deviennent d'abord brunes, puis blanches, se déforment et meurent.

Quand la potasse manque, les plantes sont flasques et molles. Au contraire, quand la quantité de potasse est suffisante, les plantes sont plus raides; c'est ce qui a fait dire inexactement que l'herbe devient *plus grossière* dans les prairies où l'on emploie des engrais potassiques. D'après MM. Müntz et Girard, si dans les prairies naturelles ou artificielles on constate l'abondance des légumineuses on peut en conclure que la potasse existe dans le sol à un taux satisfaisant. Si, au contraire, les graminées l'emportent de beaucoup sur les légumineuses, étant donné que la proportion de calcaire est convenable, il est permis dans la plupart des cas, de conclure à l'insuffisance de la potasse.

Ne pas oublier que la potasse ne produit tout son effet qu'à la condition que les autres éléments fertilisants (azote, acide phosphorique, etc.) soient en quantités suffisantes.

3° **Par des essais directs de culture**[1]. — C'est le meilleur moyen à employer surtout lorsque l'analyse chimique indique un taux suffisant de potasse totale, cette potasse pouvant n'être pas assimilable par les plantes.

M. Lechartier cite, en effet, des expériences où, dans un sol dosant 3 à 4 pour 1000 de potasse, le chlorure de potassium a donné des augmentations de rendement importantes. M. Thomas, au Lézardeau, a obtenu dans une terre granitique contenant 2,7 pour 1000 de potasse des résultats analogues.

Dans ces essais de culture il faut utiliser comme plantes surtout celles qui sont plus particulièrement avides de potasse, et sur lesquelles les engrais potassiques agissent facilement, comme les trèfles et les navets.

Ne jamais juger des effets des engrais potassiques simplement à la vue comme on le fait trop souvent pour les engrais azotés et phosphatés; il faut absolument peser la récolte. Il n'est pas rare d'obtenir avec les engrais potassiques des augmentations de récolte de 35 à 40 pour 100 que la balance permet seule de reconnaître, sans modification apparente des plantes mises en expériences.

Exigence des récoltes en potasse. — Les exportations moyennes de potasse opérées sur un hectare de terre par les différentes récoltes sont les suivantes[2] :

---

1. Voir comment on fait ces essais (p. 218).
2. D'après MM. Müntz et Girard.

Plantes céréales.	Kg.	*Plantes industrielles.*	Kg.
Blé (15 hectolitres)	20,1	Colza	58,0
— (40 —)	33,5	Œillette	68,5
Orge	33,8	Lin	40,2
Seigle	36,7	Chanvre	65,0
Avoine	25,4	Houblon	24,0
Maïs	40,3	Tabac	98,0
Sarrazin	31,3		

Racines et tubercules.	Kg.	*Plantes fourragères.*	Kg.
Carotte	133	Foin de prairie	96
Navet, rave	110	Seigle vert	126
Rutabaga	252	Maïs fourrage	192
Betterave fourragère	258	Choux	215
— à sucre	168	Trèfle rouge	156
Pomme de terre	113	Luzerne	152
Topinambour	241	Sainfoin	80
		Gesse ou vesce	80

Comparons les quantités de potasse et d'acide phosphorique absorbées par les différentes récoltes, nous trouvons :

Nature de la récolte.	Exportation par hectare. Acide phosphorique.	Potasse.
	Kg.	Kg.
Céréales	20,3	31,6
Légumineuses cultivées pour leurs graines	24,6	51,6
Plantes industrielles	30,6	58,9
— à racines et à tubercules	53,3	182,0
— fourragères	80	166

Nous voyons que la potasse est absorbée en plus grande proportion que l'acide phosphorique.

En admettant qu'en général les sols soient plus riches en potasse qu'en acide phosphorique, il n'en est pas moins vrai qu'ils épuisent peu à peu leur réserve en potasse et que le cultivateur, s'il veut obtenir des récoltes maximum, doit utiliser les engrais potassiques.

Dans certaines terres la réserve de potasse est assez grande pour obtenir, pendant quelques années, de bonnes récoltes avec des engrais phosphatés seuls. Mais, peu à peu, les récoltes deviennent moins bonnes et le cultivateur s'imagine que les engrais phosphatés laissent à désirer. Cette diminution est due très souvent à l'épuisement de la réserve en potasse, épuisement évidemment beaucoup plus rapide avec des rendements élevés qu'avec des rendements médiocres ou moyens.

134. Les différents engrais potassiques employés. — Les

principaux engrais potassiques que l'agriculture française utilise sont :

Le chlorure de potassium;
Le sulfate de potasse;
La kaïnite.

A côté de ces engrais potassiques les plus usités, on peut ranger les engrais suivants, beaucoup moins importants au point de vue pratique :

Le nitrate de potasse;
Le carbonate de potasse;
Les cendres de bois.

Le ***chlorure de potassium*** à l'état pur (que nous avons étudié en Chimie générale, p. 115) est constitué par la combinaison du chlore et du potassium. On trouve dans 100 parties de sel :

Chlore	47,6
Potassium	52,4

Les 52,4 de potassium correspondent à 61,3 pour 100 de potasse ou oxyde de potassium.

Les chlorures du commerce n'ont pas cette pureté et dosent environ 50 pour 100 de potasse. Les *chlorures de potassium des mines de Stassfurt, les plus employés*, contiennent de 75 à 90 pour 100 de sel pur correspondant à 47 à 58 pour 100 de potasse. Ils ont une teinte légèrement jaunâtre.

Les chlorures provenant des marais salants de la Camargue ne contiennent que 75 pour 100 de chlorure de potassium pur correspondant à 47 pour 100 de potasse. On reconnaît leur origine au sulfate de magnésie qu'ils contiennent.

Les chlorures que l'on retire en France des salins de betteraves ou des cendres de varechs contiennent de 75 à 90 pour 100 de chlorure de potassium pur, mais sont d'un dosage peu régulier qui rend leur emploi assez délicat.

Rappelons que le chlorure de potassium a une saveur salée et qu'il est très soluble dans l'eau.

Le sulfate de potasse à l'état pur (que nous avons étudié en Chimie générale, p. 125) contient :

Acide sulfurique	45,9
Potasse	54,1

Les sulfates de potasse que l'agriculture emploie sont surtout fournis par les *mines de Stassfurt* :

Le sulfate de potasse n° 1 de Stassfurt renferme de 90 à 95 pour 100 de sel pur et par conséquent dose de 48 à 51 pour 100 de potasse.

Le sulfate de potasse n° 2 contient de 75 à 85 pour 100 de sel pur.

Les sulfates de potasse provenant des salins de betteraves renferment environ 95 pour 100 de sel pur et sont généralement

ramenés à des titres inférieurs par l'addition de matières étrangères.

On falsifie quelquefois les sulfates de potasse en les additionnant de chlorure de sodium ou sel marin, de sulfate de soude, de sulfates bruts ou de chlorures de potassium mal raffinés.

L'agriculteur ne doit donc acheter les sels de potasse, surtout les sulfates, qu'avec une garantie d'un titre minimum de potasse soluble. Il faut non seulement exiger le dosage de l'acide sulfurique mais aussi celui du chlore, suivant que l'on a acheté du sulfate ou du chlorure de potassium, car le dosage de la potasse seul n'indique pas l'état de combinaison de cette potasse et le sulfate est toujours plus cher que le chlorure.

Rappelons que le sulfate de potasse a une saveur un peu amère et qu'il est soluble dans l'eau.

La **kaïnite** (que nous avons étudiée en Chimie générale, p. 126), est un sel brut de potasse tiré des mines de Stassfurt. Il est employé à préparer le *sulfate de potasse* cité ci-dessus, mais il est aussi utilisé directement comme engrais potassique. Il contient en moyenne 12,5 ou 13 pour 100 de potasse.

Elle est très employée en France surtout dans le Nord et l'Est où elle arrive à bon compte ; elle est vendue avec une garantie de 12,4 pour 100 de potasse *sous forme de chlorure ou de sulfate au choix des vendeurs* ; mais elle est presque toujours plus riche et dose 14 à 16 pour 100.

Aux cours actuels elle est d'un emploi très avantageux et convient tout spécialement aux terres légères, aux sols tourbeux ainsi qu'à certaines cultures, comme le lin et les prairies dans tous les sols.

Rappelons que la kaïnite se présente sous la forme d'un sel grisâtre, à saveur amère, très soluble dans l'eau. Elle absorbe facilement l'humidité de l'air; il faut donc la conserver dans des lieux secs.

135. Engrais potassiques divers. — A côté des trois engrais potassiques les plus employés (chlorure de potassium, sulfate de potasse et kaïnite) nous pouvons classer les sels potassiques suivants :

Le nitrate de potasse (voir Chimie générale, propriétés de ce corps, p. 121) : il fournit la potasse à un prix beaucoup plus élevé que le sulfate et le chlorure qui doivent par conséquent lui être préférés.

Le carbonate de potasse (voir Chimie générale, p. 120). A l'état pur il renferme 68,11 pour 100 de potasse. Les carbonates de potasse du commerce, appelés souvent *potasses*, ont différentes origines et différentes compositions :

Le carbonate de potasse provenant du raffinage des salins de betteraves contient en moyenne :

Carbonate de potasse.	87,14	pour 100.
Chlorure de potassium	3,20	—
Sulfate de potasse.	1,97	—
Carbonate de soude.	6,30	—

Le carbonate de potasse provenant des salins de suint renferme :

Carbonate de potasse	76,45 pour 100.
— de soude	4,59 —
Sulfate de potasse	4,24 —
Chlorure de potassium	7,28 —

Les salines du Midi de la France produisent encore un sulfate double de potasse et de magnésie, désigné autrefois sous le nom d'engrais Merle, dont l'emploi a fait place, depuis plusieurs années, à celui du *sulfate de potasse*.

En résumé, les carbonates de potasse du commerce ont un taux de potasse variant de 52 à 63 pour 100.

Comme le font remarquer MM. Müntz et Girard, « le prix de la potasse des carbonates revient toujours à un prix trop élevé pour que nous puissions recommander son emploi aux agriculteurs. Ce prix est, en effet, presque double de celui de la potasse dans le chlorure de potassium ». De plus, leur usage est fort délicat et demande de grandes précautions à cause de leur grande causticité.

Les cendres de bois peuvent être considérées comme un engrais potassique, elles contiennent en moyenne :

	Potasse.	Acide phosphorique.
Cendres de bois de chêne	8 à 16 pour 100	6 à 8 p. 100
— — hêtre	8 à 12 —	5 à 7 —
— — peuplier	10 à 15 —	10 à 13 —
— — pin	10 à 15 —	3 à 4 —

C'est au carbonate de potasse que les cendres doivent leurs propriétés alcalines.

136. Les sels potassiques dans le sol. — Les sels potassiques se dissolvent facilement dans l'eau que les sols contiennent en plus ou moins grande quantité.

Cette dissolution se produit toujours, les terres contenant toujours assez d'humidité pour qu'elle puisse se faire. Son mécanisme est analogue à celui dont nous avons parlé à propos du nitrate de soude : chaque cristal de sel potassique absorbe l'humidité qui l'entoure en produisant une dissolution concentrée qui imprègne les particules terreuses les plus rapprochées. Il est évident que si, après une application de sels potassiques, on opère des semailles et que les germes tombent dans les dissolutions concentrées, la germination se fera mal.

C'est à tort que l'on attribue aux engrais potassiques seuls les effets nocifs des dissolutions concentrées de ces sels sur les graines; tous les engrais solubles (nitrate de soude, sulfate d'ammoniaque, etc.) produisent le même effet. Pour éviter cet inconvénient, il suffit d'incorporer les engrais potassiques au sol un certain temps avant les semailles, afin que, par suite des pluies, les dissolutions des sels puissent devenir très étendues.

Les engrais potassiques sont retenus par le pouvoir absorbant du sol. — Si, en effet, on opère le lavage de la terre, on constate que la potasse n'entre plus en dissolution comme avant d'être mise en contact avec le sol.

Comment se fait la fixation des engrais potassiques? Cette fixation, comme pour le sulfate d'ammoniaque, s'opère grâce à l'argile et l'humus, après l'intervention du carbonate de calcium[1].

En présence du calcaire ou carbonate de calcium du sol, les sels potassiques se décomposent: il y a une double décomposition qui donne naissance à du carbonate de potassium. Ainsi le chlorure de potassium donnera du *carbonate de potassium* et du chlorure de calcium. Si c'est le sulfate de potassium que l'on emploie, il se formera du *carbonate de potassium* et du sulfate de calcium ou plâtre.

C'est donc, en réalité, sous forme de carbonate de potassium que les sels potassiques sont utilisés par les plantes.

Le *carbonate de potasse* du commerce est donc un engrais potassique de grande valeur. En fait, on en consomme des quantités importantes pour la fumure des vignes, surtout dans le Midi. Mais son prix est beaucoup trop élevé et son maniement trop délicat pour que l'on puisse en conseiller l'emploi; il est préférable d'acheter du chlorure ou du sulfate de potassium. Non seulement on paie de cette façon la potasse bien moins chère, mais on arrive aussi au même résultat puisque, au bout de quelque temps, ces deux sels sont transformés dans le sol en carbonate de potassium.

C'est ce *carbonate de potassium qui est retenu par le pouvoir absorbant du sol.*

Le pouvoir absorbant du sol fixe assez la potasse pour qu'il n'y en ait pas plus d'un cinquième qui soit entraîné à une profondeur dépassant 20 à 25 centimètres, dans un terrain de bonne composition moyenne; et, comme le fait remarquer M. Garola, cette fraction se trouve certainement absorbée avant qu'elle n'ait atteint 50 centimètres de profondeur.

« Par exemple, en 22 ans, un champ de Rothamsted a reçu 1 133 kilogrammes de potasse dans les engrais, et les récoltes en ont prélevé 769 kilogrammes. Il devait donc en rester dans le sol 763 kilogrammes. L'analyse en a retrouvé, dans la première couche de 22 centimètres d'épaisseur, 530 kilogrammes. Il n'en est donc passé que 234 kilogrammes dans le sous-sol en 22 ans, soit 11 kilogrammes par année[2] ».

La présence dans le sol d'une quantité suffisante de chaux ou de calcaire[3] est indispensable à la transformation des sels

---

1. Voir Propriétés absorbantes du sol, p. 93.
2. Garola.
3. Car la chaux, en présence du gaz carbonique qui circule dans le sol, se transforme rapidement en carbonate de calcium.

potassiques en carbonate de potasse retenu par les propriétés absorbantes du sol. En l'absence de chaux ou de calcaire, la transformation des sels potassiques ne se fait pas ; le chlorure ou le sulfate de potasse reste, en un mot, tel quel dans le sol et n'est pas retenu par le pouvoir absorbant.

Par conséquent, s'il pleut beaucoup, ces sels se dissolvent et peuvent être entraînés dans les eaux de drainage ; s'il pleut très peu, ils forment avec l'eau des dissolutions plus ou moins concentrées qui restent au voisinage des racines des plantes et peuvent causer des accidents. Il faut donc *chauler* les terres pauvres en calcaire quand on leur donne des engrais potassiques.

Les engrais potassiques influent sur la formation de l'humus. — Il résulte des recherches de M. Dumont : 1° que les engrais potassiques favorisent notablement la transformation des matières organiques du sol ; 2° que l'action du sulfate de potasse et du chlorure de potassium sur cette transformation est subordonnée à la présence du calcaire, et aussi, dans une certaine mesure (pour le chlorure surtout), à la fréquence des pluies dans les régions sèches.

137. Comparaison des différents sels potassiques. — ***Le carbonate de potasse*** n'ayant pas à subir de transformation dans la terre, pour être retenu, convient tout particulièrement au sol n'ayant pas ou presque pas de chaux. Son emploi est cependant très limité à cause de son prix très élevé.

Le nitrate de potasse donne à la fois de l'azote et de la potasse. En présence du calcaire du sol, il se forme du nitrate de calcium utilisé par les plantes comme engrais azoté et du carbonate de potassium. Le nitrate de calcium peut être entraîné par les eaux de pluie et occasionner des pertes d'azote. Étant donné surtout le prix élevé du nitrate de potasse, il vaut mieux, si l'on veut donner au sol à la fois de l'azote et de la potasse, employer le nitrate de soude avec le sulfate ou le chlorure de potassium.

Comme on le voit, au point de vue pratique, les deux seuls engrais potassiques à employer et par conséquent à comparer, sont le *sulfate de potasse* et le *chlorure de potassium*.

Le sulfate de potasse, ainsi que nous l'avons vu, se transforme dans le sol au contact du calcaire en *carbonate de potassium* avec formation de *sulfate de calcium* peu soluble dans l'eau.

Le chlorure de potassium se transforme en *carbonate de potassium* avec formation de *chlorure de calcium* très soluble dans l'eau pouvant disparaître rapidement avec les eaux de drainage.

Ces deux engrais potassiques peuvent donc appauvrir le sol en chaux, mais l'appauvrissement est beaucoup plus sensible avec le chlorure de potassium qu'avec le sulfate de potasse.

Le danger résultant de cet appauvrissement s'augmente, si le sous-sol est imperméable, de l'action fâcheuse qu'exerce la solution de chlorure de calcium[1] formée, stagnante au contact des racines des plantes.

Avec le sulfate de potasse, il n'y a rien à craindre de tel. Il se produit du sulfate de calcium, peu soluble, qui reste en grande partie dans le sol et cause peu de préjudice à sa richesse en calcaire tout en n'exerçant aucune action fâcheuse sur les plantes. On doit en conclure que *le sulfate de potasse convient à tous les sols*, tandis que le *chlorure de potassium* n'est à sa place que dans les terres bien pourvues de chaux (sous forme de calcaire) et dont le sous-sol est perméable.

138. Les sels potassiques dans les différents sols. — Les considérations qui précèdent permettent de comprendre les conseils suivants pour l'emploi des sels potassiques dans les différents sols :

1° *La kaïnite* peut être employée dans des terres sablonneuses, légères, perméables et sèches, et dans les terres tourbeuses. Elle convient très bien aux prairies naturelles et surtout aux vieilles prairies. Pas de kaïnite dans les terres argileuses.

2° *Le sulfate de potasse* doit être utilisé : 1° dans les terres argileuses pauvres en calcaire et à sous-sol imperméable ; 2° dans tous les sols pour la culture du tabac, des betteraves, des pommes de terre.

3° *Le chlorure de potassium* peut être utilisé dans tous les autres cas.

Remarquons que le chlorure de potassium est le plus économique des engrais potassiques ; c'est celui qui fournit le kilogramme de potasse au plus bas prix. C'est donc celui qui peut donner les bénéfices les plus élevés, à la condition toutefois d'être judicieusement employé.

Les engrais de potasse doivent être appliqués au sol de préférence avant les semailles, surtout la kaïnite, afin qu'il n'y ait pas contact avec les graines. Pour les cultures de printemps, les incorporer au sol pendant l'hiver; pour les semailles d'automne, les appliquer au moins sur l'avant-dernier labour. Mais on peut aussi le donner en *couverture*, soit une quinzaine de jours après la levée, soit même après l'hiver pour les céréales d'automne.

1. Le chlorure de calcium exerce une mauvaise action sur les plantes.

CHAPITRE XXIII

ENGRAIS CALCAIRES OU AMENDEMENTS

139. De l'utilité de la chaux. — La chaux a un rôle multiple que nous rappellerons :

1° Elle sert à l'alimentation des plantes (voir page 28) ;

2° Elle est nécessaire à la formation de l'humus et à la nitrification (voir page 71) ;

3° Les sels de chaux sont nécessaires à l'ameublissement du sol (voir page 54) ;

4° Elle est indispensable au pouvoir absorbant du sol pour l'utilisation des engrais potassiques et des engrais ammoniacaux.

Au point de vue de l'alimentation des plantes, il suffit que les terres contiennent 1 gramme de chaux pour 1000 grammes de terre, elles sont alors considérées comme assez bien pourvues en cet élément.

Les exportations moyennes en chaux opérées sur un hectare de terre par les différentes récoltes sont, en effet :

Plantes céréales.	Kgs.	*Légumineuses (graines).*	Kgs.	*Plantes industrielles.*	Kgs.
Blé	7,8			Colza	97,0
Orge	10,0	Haricot	24,8	Œillette	67,2
Seigle	13,7	Pois	66,9	Lin	30,3
Avoine	8,8	Féverol	37,7	Chanvre	152,0
Maïs	15,4	Lentille	35,2	Tabac	112,0

Racines et tubercules.	Kgs.	*Plantes fourragères.*	Kgs.
Carotte	113,0	Foin de prairie	46,2
Betterave fourragère	50,0	Maïs-fourrage	72,0
Betterave à sucre	58,2	Trèfle	153,6
Pomme de terre	24,6	Sainfoin	65,7
		Vesces	77,2

Les céréales, comme on le voit, n'exigent qu'une quantité de chaux environ moitié moindre que celle de l'acide phosphorique et trois fois moindre que celle de la potasse.

La chaux est surtout concentrée dans les parties végétales, fourrages, pailles fines qui sont employées dans la ferme et restituées au sol avec le fumier ; il n'y a donc pas de cause

d'appauvrissement en chaux très appréciable, les parties des récoltes exportées n'en contenant que de faibles quantités.

Si, au point de vue de l'alimentation des plantes, 1 pour 1 000 de chaux suffit, par contre, pour que les autres rôles que nous avons cités plus haut soient remplis, il faut que les terres renferment environ de 4 à 5 grammes de chaux pour 100 grammes de terre (4 à 5 pour 100).

En général, les terres sont suffisamment pourvues de chaux (à l'état de combinaison; voir les différentes formes de la chaux dans le sol, page 85) pour la nourriture des plantes; aussi cet élément n'a-t-il qu'une importance secondaire comme aliment. Il n'en est pas de même pour les autres rôles joués par la chaux: bien des terres suffisamment riches pour l'alimentation des récoltes sont en réalité pauvres pour la nitrification et les réactions chimiques qui influent sur leur fertilité.

Le rôle multiple de la chaux est donc distinct de son rôle comme aliment. Aussi considère-t-on les engrais calcaires comme essentiellement différents des autres engrais, lesquels sont utilisés surtout comme sources d'éléments fertilisants : on les désigne sous le nom *d'amendements*[1].

140. Comment on reconnaît qu'une terre a besoin de chaux. — 1° ***Par l'analyse chimique.*** — La chaux mise dans le sol se transforme rapidement, comme nous le verrons, en carbonate de calcium ou calcaire ; nous avons vu (page 86) que le calcaire est la principale forme sous laquelle la chaux existe dans les sols et que cette forme est la plus utile pour les plantes. Aussi, pour déterminer les besoins d'un sol en chaux, recherche-t-on la quantité de *calcaire actif* que contient ce sol, c'est-à-dire le calcaire passant naturellement et sans broyage au tamis de dix fils au centimètre.

Le dosage du calcaire se fait très simplement à l'aide d'un calcimètre (voir page 87).

La dose de calcaire que doivent contenir les sols est très variable : à dose égale de carbonate de calcium, les terres légères sont plus calcaires que les terres fortes et, lorsque cet élément fait défaut, il n'est pas nécessaire d'apporter autant de chaux dans les premières que dans les secondes ; dans les terres riches en matières organiques, il est utile qu'il y ait plus de calcaire que dans les terres pauvres. On comprend, par conséquent, qu'il est difficile de fixer la limite à laquelle le sol ne

---

1. *Amendement* signifie littéralement « changement en mieux »; les amendements calcaires sont donc des substances destinées à changer, à modifier les propriétés du sol.

contient pas assez de calcaire : on voit des terres légères renfermant moins de 1 pour 100 de calcaire se trouver suffisamment riches, alors que des terres fortes ne le sont pas assez avec 3 ou 4 pour 100.

« L'analyse chimique est donc insuffisante pour déterminer si un sol se trouve avoir besoin d'amendements calcaires. Ce n'est que dans le cas où le calcaire est absent ou en proportion par trop minime que ce mode de recherches peut guider; mais pour les sols qui en contiennent une certaine quantité, tout en restant voisin de la limite inférieure, c'est la pratique agricole et l'expérimentation directe qui doivent suppléer à l'insuffisance des données fournies par l'analyse[1].

2° ***Par l'aspect de la végétation.*** — Les terres dépourvues de calcaire ne portent pas de légumineuses; elles sont caractérisées par les plantes suivantes : la bruyère, l'ajonc, l'oseille, les fougères, etc. Si le terrain est dépourvu de calcaire et *humide*, on y rencontre des carex, sphaignes, linaigrettes, etc.

Dans les terres calcaires, on trouve facilement des légumineuses (luzerne, minette, sainfoin, trèfle, etc.).

141. Déperdition de chaux. — Une terre contenant seulement 1 pour 1000 de chaux renferme par hectare environ 3600 kilogrammes de chaux à l'état de combinaison (le poids d'un hectare de terre étant de 36 000 tonnes). Une terre renfermant une moyenne de 3 pour 100 de chaux aurait 108 000 kilogrammes de chaux par hectare, dose qui paraît énorme et inépuisable.

Mais il faut considérer que les pertes en chaux éprouvées par les terres, dues à l'entraînement effectué par les eaux de drainage, sont loin d'être négligeables :

Nous avons vu, page 89, que ces pertes peuvent être :

1° A l'état de bicarbonate de chaux entraîné dans les eaux de drainage, représentant environ 215 kilogrammes de calcaire, soit en chaux.	120kg.
2° A l'état de nitrate (provenant de la combinaison de l'acide nitrique formé pendant la nitrification avec la chaux du carbonate de chaux du sol), représentant environ 70 kilogrammes de calcaire, soit en chaux.	39kg.
3° A l'état de sulfate (quand on emploie le sulfate d'ammoniaque comme engrais), représentant environ 65 kilogrammes de calcaire, soit en chaux.	36kg,4
4° A l'état de chlorure (quand on emploie comme engrais potassique le chlorure de potassium), représentant environ 60 kilogrammes de calcaire, soit en chaux.	33kg,6
Au total environ. . .	229kg,0

1. Méthodes d'analyses des terres (Comité consultatif des Stations agronomiques).

Sans compter la perte provenant de l'entraînement des récoltes (perte faible de 10 à 30 kilogrammes en moyenne).

Lorsque les terres sont pauvres en chaux ou plutôt en calcaire, l'agriculteur doit donc se préoccuper d'apporter au sol une certaine quantité de chaux.

142. Les différents amendements calcaires employés. — Les différentes formes sous lesquelles la chaux est employée en agriculture sont :

La chaux vive (*chaulage*).

La craie et la marne (*marnage*).

I. — CHAULAGE

Le chaulage a pour but d'incorporer aux terres une certaine quantité de chaux qui leur est nécessaire.

143. Fabrication et propriétés de la chaux. — La chaux se prépare en décomposant, par la chaleur, la pierre à chaux (carbonate de calcium ou calcaire). Nous avons indiqué en Chimie générale, p. 131, la fabrication industrielle et la *fabrication agricole de la chaux* ainsi que les propriétés.

144. Les différentes variétés de chaux. — Les différentes variétés sont :

1° ***La chaux grasse.*** (Voir Chimie générale, p. 135.) C'est la meilleure variété pour le chaulage ; c'est d'ailleurs la plus pure, la plus active et la plus économique.

2° ***La chaux maigre.*** (Voir Chimie générale, p. 135.) Elle peut être également employée pour le chaulage, mais il en faut une plus grande quantité, car elle renferme à proportion moins de chaux réelle, elle est moins pure.

3° ***La chaux hydraulique.*** — Elle ne doit pas être employée en agriculture.

Comment on reconnaît la meilleure variété pour le chaulage. — On prend quelques morceaux de chaux et on les trempe dans l'eau pendant 2 minutes, on les retire et on les abandonne ensuite. La chaux est d'autant meilleure qu'elle se délite plus rapidement, que le foisonnement est plus grand ; s'il reste des fragments pierreux indélayables dans l'eau, ils diminuent la valeur de la chaux.

145. Comment on emploie la chaux. — On dispose, sur la terre à chauler, la chaux vive en petits tas de 20 à 50 litres espacés de 7 mètres environ en tous sens. Ces tas sont recouverts de terre. La chaux absorbe peu à peu l'humidité, *s'éteint* et se transforme au bout d'une vingtaine de jours en poudre

impalpable que l'on répand avec la terre sur le sol à chauler. Quinze jours après l'épandage, la chaux n'est plus à l'état libre; elle se transforme en carbonate ou en humate de chaux; on peut, sans crainte de brûler les graines, pratiquer les semailles.

146. Ce que devient la chaux mise dans le sol. — La chaux mise dans le sol ne reste pas longtemps à l'état libre : elle se combine peu à peu à l'acide carbonique qui circule dans la terre ou à l'acide humique pour former surtout du carbonate de chaux ou de l'humate de chaux (voir les différentes formes de la chaux dans le sol, page 87).

Mais alors pourquoi répandre de la chaux; il serait bien plus simple, semble-t-il d'employer, directement du carbonate de chaux ou calcaire[1]? Parce que la chaux vive en se délitant, en « s'éteignant » grâce à l'humidité, se transforme en poudre extrêmement fine, beaucoup plus fine qu'on ne pourrait l'obtenir en pulvérisant directement le calcaire[2] (comme on le fait pour les phosphates par exemple). Or, plus le carbonate de chaux employé est fin, plus il est actif, plus son action est grande. Il vaut donc mieux employer la chaux vive.

147. Comment agit la chaux dans le sol. — 1° ***Action de la chaux sur les matières organiques du sol.*** — La chaux commence par désagréger la matière organique, puis la décompose en partie avec formation d'ammoniaque.

Expérience. — Mettons dans un tube à essai un peu de terre humide avec de la chaux en poudre (fig. 42); chauffons et présentons à l'entrée du tube un papier rouge de tournesol, l'ammoniaque qui se dégage bleuit le papier.

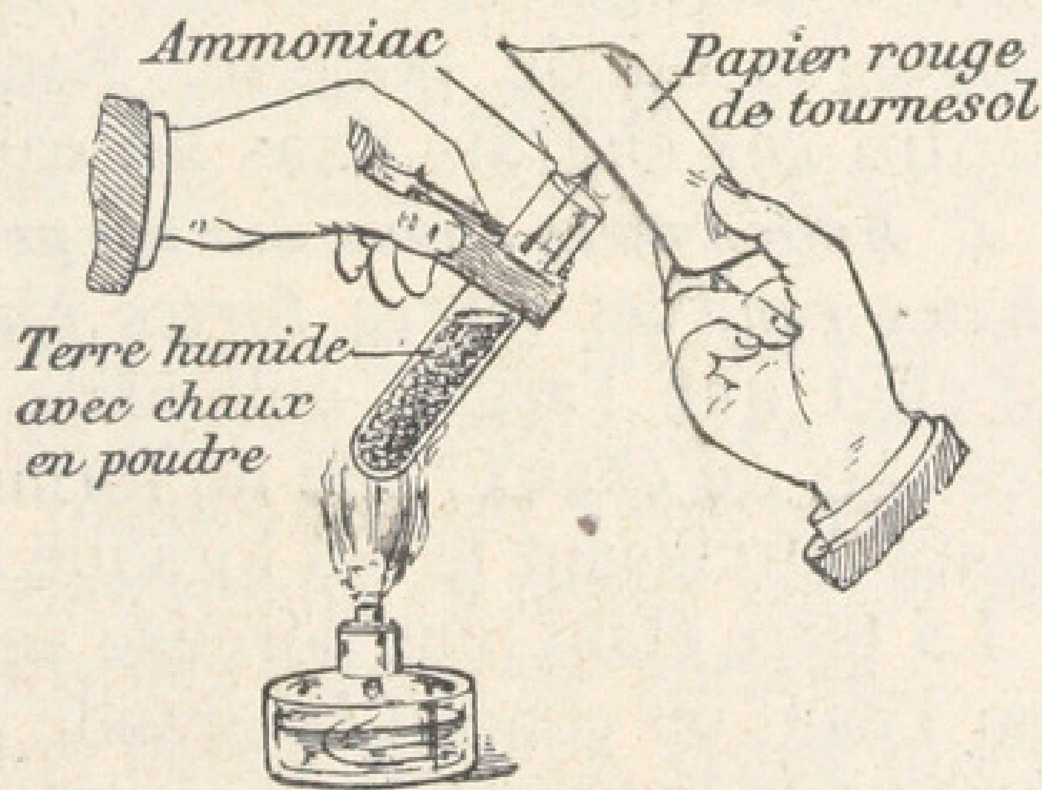


FIG. 42. — LA CHAUX DÉCOMPOSE LA MATIÈRE ORGANIQUE AVEC FORMATION D'AMMONIAQUE.

Mais cette action n'a pas l'importance de celle qui résulte de l'action de la chaux sur la *nitrification* (voir nitrification, p. 70).

Au début, lorsqu'on vient de répandre la chaux, la nitrification est arrêtée, mais dès que la chaux s'est combinée à l'acide carbonique qui circule dans le sol pour former du carbonate de chaux,

1. Le calcaire par exemple qui a servi à préparer la chaux; on éviterait ainsi une préparation plus ou moins coûteuse.
2. Cette pulvérisation serait également coûteuse

où à l'acide humique pour former un humate de chaux, en un mot dès que la chaux a perdu sa causticité, la nitrification reprend.

Nous avons vu que la nitrification ne se fait que dans un milieu légèrement alcalin; elle ne se fait par conséquent pas ou mal dans un terrain pauvre en calcaire ou dépourvu de calcaire : l'azote organique ne peut donc pas être transformé en azote nitrique très assimilable pour les plantes.

On comprend, dès lors, les excellents effets que produit la chaux dans les terrains tourbeux, toujours acides, et les terrains granitiques, dépourvus de calcaire, où la nitrification se fait mal : cette chaux facilite la nitrification c'est-à-dire la transformation de l'azote organique en azote nitrique, si utile aux plantes. Fournir de la chaux à ces terrains, c'est en quelque sorte fournir aux plantes de l'azote nitrique assimilable qu'elles ne pouvaient utiliser lorsqu'il était à l'état d'azote organique.

2° ***Action de la chaux sur les éléments minéraux du sol.*** Dès que la chaux est mise dans le sol, avant qu'elle ne soit transformée en carbonate ou en humate de chaux, elle peut agir sur l'argile (silicate double d'alumine et de potasse) et mettre la potasse en liberté à la disposition des plantes.

Une action semblable peut se produire pour l'acide phosphorique engagé dans des combinaisons insolubles.

3° ***Action de la chaux sur le pouvoir absorbant du sol.*** — Nous avons vu (pages 144 et 187) que les engrais ammoniacaux et les engrais potassiques ne sont retenus par le sol que si ce dernier contient du calcaire pour former du carbonate d'ammoniaque ou de potasse. Sans calcaire, les terres laissent perdre ces engrais dans les eaux de drainage.

4° ***Action de la chaux sur les propriétés physiques du sol.*** — *La chaux rend les terres fortes plus poreuses..* — Nous avons vu en effet que l'argile colloïdale (p. 54) se coagule sous l'action des sels de chaux; elle ne forme alors plus autant une matière liante durcissant le sol lorsque celui-ci se dessèche.

La terre étant plus poreuse se laisse plus facilement pénétrer par l'eau; on conçoit la grande influence que présente un chaulage pour l'approvisionnement d'eau du sol.

La chaux rend les terres tourbeuses plus perméables, moins humides, en facilitant la nitrification des matières organiques, de l'humus qui retient facilement l'eau.

148. Effets de la chaux sur les récoltes. — La chaux modifie rapidement la végétation naturelle des terres; elle fait disparaître les mauvaises espèces (bruyères, ajoncs, carex, laîches, etc.) et pousse au développement des bonnes espèces

(bonnes graminées et *légumineuses*); les fourrages des prairies naturelles acquièrent une qualité bien supérieure, les herbes deviennent plus délicates et plus nutritives.

« Les personnes, dit Déhérain, qui n'ont pas eu occasion de constater par elles-mêmes les changements prodigieux qu'apporte la chaux sur les terres granitiques schisteuses, tourbeuses, où le calcaire fait défaut, peuvent s'en faire une idée par l'exemple classique du Limousin : le tableau qu'en font Turgot qui l'administre, Arthur Young qui le parcourt, est navrant; la misère est extrême, bien souvent la châtaigne est la seule nourriture des habitants qui vendent pour payer les impôts, hors de toutes proportions avec leurs ressources, le peu de grain qu'ils récoltent; le pain de froment est réservé aux bourgeois des villes, les paysans n'en mangent jamais.

« Aujourd'hui l'aisance règne dans ce pays jadis déshérité; elle est née du jour où a été construit le chemin de fer de Châteauroux à Limoges qui a amené à la Haute-Vienne la chaux de l'Indre et du Cher. Cette aisance s'est encore accrue quand les phosphates ont apporté aux terrains pauvres en acide phosphorique de cette région le second aliment végétal qui y faisait défaut.

« Dès le commencement du XIXe siècle, la culture misérable du Maine a été transformée par l'application de la chaux, et sous son influence la Bretagne s'enrichit peu à peu ».

149. La chaux employée épuise le sol; précautions à prendre. — Frappés des bons effets obtenus avec le chaulage dans les terres dépourvues de calcaire, les agriculteurs, *au début*, crurent que la chaux était l'engrais par excellence. La première année, en effet, la chaux, rendant assimilable le stock considérable d'azote qui s'était amassé dans le sol sous forme de détritus organiques, fit merveille : le froment put prendre la place du seigle et les fourrages devinrent magnifiques. Les cultivateurs, enthousiasmés, répandirent la chaux à profusion pour obtenir des récoltes encore plus considérables. Ils furent très étonnés, au bout d'un certain nombre d'années, de voir les récoltes diminuer; ils dirent que « la chaux avait produit tout son effet ».

C'est que la chaux n'est pas l'engrais unique, elle ne fait que rendre assimilable par les plantes l'azote organique en réserve qui n'est pas utilisable. Les plantes, ayant alors beaucoup d'azote à leur disposition, peuvent prendre en même temps une plus grande quantité d'acide phosphorique et de potasse.

En chaulant, on a donc de plus belles récoltes, parce que la chaux permet à la plante de se nourrir mieux, de prendre plus facilement, si nous pouvons dire ainsi, les matières fertilisantes contenues dans la terre.

Mais si la plante se nourrit mieux, elle épuise plus rapidement le sol, de sorte que, si on ne met pas une fumure suffisante, la terre chaulée, qui au début donnait de belles récoltes, ne tarde pas à voir ses rendements diminuer et devenir insignifiants.

De plus, *la nitrification, grâce au chaulage, devient plus active, l'humus disparaît rapidement; les nitrates, formés aux dépens de la matière organique et non utilisés entièrement par les plantes, se perdent en assez grandes quantités dans les eaux de drainage.*

Ces deux causes d'appauvrissement de la terre sous l'influence de la chaux ont fait dire :

« *La chaux enrichit le père et ruine les enfants* ».

et encore :

« *Qui chaule sans fumer*
Se ruine sans y penser ».

Un chaulage ne ruine pas si on fume mieux et si on ajoute au fumier des engrais phosphatés et potassiques.

150. La chaux n'agit qu'en présence des autres principes fertilisants. — La chaux ne produit tous ses effets que si le sol contient en quantité suffisante les autres éléments fertilisants nécessaires aux récoltes (azote, acide phosphorique, potasse); si l'un d'eux, ainsi que nous l'avons vu (p. 30), fait défaut, malgré l'abondance des autres, la production végétale est limitée.

Il ne faut donc appliquer les chaulages qu'aux terres suffisamment riches en azote, en acide phosphorique et en potasse, ou aux terres auxquelles on a ajouté l'élément fertilisant faisant défaut.

151. Quantités de chaux à employer. — Les doses de chaux répandues dans les terres sont très variables :

Quelques agriculteurs répandent à l'hectare, tous les 6 à 8 ans, 60 hectolitres de chaux dans les terres légères, 100 hectolitres dans les terres fortes, 180 hectolitres dans les terres de bois nouvellement défrichées.

D'autres mettent, en moyenne, tous les 12 à 15 ans, 150 hectolitres, d'autres enfin 200 hectolitres tous les 20 ans. *Ces chaulages sont faits à dose trop élevée et à période trop longue.*

Les chaulages à dose élevée et à période longue présentent des inconvénients sérieux :

1° Les réserves d'azote organique sont transformées trop rapidement en azote nitrique, par suite d'une nitrification exagérée; il peut y avoir des pertes, les plantes n'utilisant pas tous les nitrates formés.

De plus, ces chaulages rendent le sol momentanément beaucoup plus perméable; les terres sont plus facilement lavées par les eaux pluviales, et perdent ainsi plus facilement les nitrates non utilisés.

2° La chaux étant entraînée par les eaux de pluie[1], il arrive que celle-ci disparaît peu à peu du sol. Les cultures des premières années, seules, profitent ainsi de l'effet de la chaux.

Les chaulages moins abondants mais répétés sont préférables :

Dans les terres légères (sables granitiques ou grés) : 10 à 12 hectolitres à l'hectare tous les 3 ans.

Dans les terres légères, riches en matière organique (défriches de landes ou de bois) : 20 à 24 hectolitres à l'hectare tous les 3 ans.

Dans les terres de consistance moyenne : 15 hectolitres à l'hectare tous les 3 ans.

Dans les terres fortes : 20 hectolitres à l'hectare tous les 3 ans.

Dans les terres tourbeuses, acides : 25 à 30 hectolitres à l'hectare tous les 3 ans.

II. — MARNAGE

152. *Le marnage a pour but d'incorporer aux terres une certaine quantité de marne contenant le calcaire qui leur est nécessaire.*

Il s'applique aux terres dépourvues de calcaires ou peu riches en calcaire.

Ce que c'est que la marne. — La marne est formée par un mélange en proportions très variables de *carbonate de chaux*, *d'argile et de sable*, auxquels s'ajoutent des matières étrangères telles que l'oxyde de fer, le carbonate de magnésie, le plâtre, etc. C'est le carbonate de chaux ou calcaire qui en fait la valeur.

Propriétés de la marne. — La marne se délite[2] spontanément lorsqu'elle est mouillée ou exposée à l'air pendant quelque temps; elle augmente de volume, foisonne[3] et tombe en poussière à peu près comme le fait la chaux vive.

Tandis que la plupart des calcaires n'offrent cette propriété qu'après avoir subi la cuisson (voir Fabrication de la chaux, p. 132) la marne, au contraire, la possède sans avoir besoin d'être cuite.

Le délitement spontané des marnes serait dû[4] à l'opposition des propriétés

---

1. Sous forme de carbonate; le carbonate de chaux est, en effet, soluble dans l'eau qui circule dans les sols et qui contient toujours plus ou moins de gaz carbonique.
2. Se fendille, se fragmente et tombe en poussière.
3. Se fragmente en augmentant de volume.
4. D'après MM. Müntz et Girard.

du calcaire et de celles de l'argile : « le calcaire forme avec l'eau une pâte peu liante qui se réduit facilement en poussière par la dessication; l'argile par elle-même possède la propriété inverse, mais sa cohésion est détruite par la présence du calcaire dont la pulvérisation par dessication entraîne celle de l'argile. La faculté très différente qu'ont les deux éléments d'abandonner ou d'absorber l'eau tend à rompre l'équilibre des molécules et à produire la désagrégation. »

Cette propriété qu'ont les marnes de se réduire en poussière les rapproche de la chaux éteinte au point de vue de la diffusion du calcaire dans les sols et les fait rechercher.

On distingue plusieurs sortes de marnes, suivant que l'un des trois éléments principaux (carbonate de chaux, argile ou sable) domine :

1° Les *marnes calcaires*, contenant de 50 à 95 pour 100 de carbonate de chaux. Elles se réduisent assez facilement en poudre quand on les expose à l'air;

2° Les *marnes argileuses*, contenant de 10 à 50 pour 100 de carbonate de chaux et de 50 à 75 pour 100 d'argile, le reste étant constitué par du sable. Elles se délitent lentement; elles sont onctueuses au toucher, durcissent au feu et happent fortement la langue.

3° Les *marnes sableuses ou siliceuses*, contenant 10 à 50 pour 100 de calcaire, 25 à 75 pour 100 de sable avec un peu d'argile. Elles sont friables, ne durcissent pas au feu et ne happent pas la langue.

Ce sont évidemment les marnes calcaires les meilleures.

Comment on emploie la marne. — On dispose à l'automne sur la terre à marner, la marne en petits tas espacés, comme pour le fumier, ou mieux encore, pour éviter une manipulation double,on répand dès le début les morceaux de marne à la surface du sol.

Lorsque les morceaux sont bien délités on enfouit à la charrue.

Comment agit la marne dans le sol. — La marne, grâce au carbonate de chaux qu'elle contient, agit à peu près de la même manière que la chaux à partir du moment où celle-ci est transformée dans le sol en carbonate de chaux.

Le marnage se distingue donc du chaulage par l'absence des effets caustiques (arrêt momentané de la nitrification, etc.). Il donne naissance à toutes les autres réactions qui influent sur les propriétés physiques et les propriétés chimiques du sol (voir *Chaulage*, *Comment agit la chaux dans le sol*, p. 194).

Le marnage a une action moins rapide que le chaulage.

Effets de la marne sur les récoltes. — La marne agit sur la végétation de la même manière que la chaux, mais moins énergiquement et moins rapidement (voir *Effets de la chaux sur les récoltes*, p. 195).

Quantités de marne à employer. — Les marnages, comme les chaulages, doivent être peu abondants, mais répétés (voir p. 198).

Les gros marnages tous les quinze à vingt ans, comme on les pratique trop souvent, sont à rejeter.

Lorsque le sol a été amélioré par un premier marnage, il suffit (si, par exemple, on a une marne contenant 40 pour 100 environ de carbonate de chaux) d'apporter au sol environ par hectare 1500 kilogrammes de marne chaque année ou 6000 kilogrammes tous les quatre ans, soit 4 à 5 mètres cubes[1].

153. Marnage par les calcaires marins, les coquilles et les chaux résiduaires. — 1° ***Faluns.*** — Les faluns, appelés encore marnes coquillières ou coquilles fossiles, sont formés par un mélange de sables grossiers avec des coquilles marines, des polypiers et madrépores[2], etc. Ils sont essentiellement constitués par du carbonate de chaux et du sable avec de petites quantités de phosphate et de potasse. Ils se rapprochent de la marne, non seulement par le carbonate de chaux qu'ils renferment, mais aussi par la propriété qu'ils possèdent aussi de se déliter, lorsqu'ils sont exposés à l'air; ce délitement est cependant moins rapide.

2° ***Tangues, trez et Merls***[3]. — La *tangue* est une sorte de sable marin, de couleur grise ou blanc jaunâtre, que l'on rencontre dans les baies ou anses du rivage et renfermant de 25 à 50 pour 100 de carbonate de chaux.

Le *trez* est un sable marin se rapprochant beaucoup de la tangue et n'en différant que par une ténuité moins grande.

Le *merl* est un calcaire marin différent de la tangue et du trez; il se présente sous la forme de concrétions dures, irrégulières, et contient de 50 à 75 pour 100 de carbonate de chaux.

3° ***Chaux d'épuration du gaz.*** — La chaux ayant servi à l'épuration du gaz d'éclairage peut être employée, mais à la condition d'avoir été exposée pendant plusieurs mois à l'air libre, afin de faire disparaître certains sels vénéneux pour les plantes.

4° ***Les cendres lessivées.*** — Les cendres lessivées ou charrées rejetées par les blanchisseries et les savonneries contiennent du carbonate de chaux (25 à 45 pour 100) et du phosphate de chaux (6 à 15 pour 100). Elles constituent à la fois un engrais et un amendement; elles produisent de bons résultats sur les terres compactes et argileuses, les terres tourbeuses, les terres acides.

5° ***Les cendres de houille.*** — Elles contiennent : 8 à 9 pour 100 de chaux, 2 pour 100 de magnésie, 6 à 7 pour 100 d'acide sulfurique, 0,7 à 0,8 pour 100 d'acide phosphorique et 0,5 à 0,6 pour 100 de potasse. Leur action fertilisante qui est peu élevée est due surtout à la chaux et à l'acide sulfurique qu'elles renferment. Elles agissent à la fois comme la marne et le plâtre. Comme elles contiennent beaucoup de matières terreuses calcinées, on peut les utiliser pour ameublir les terres argileuses.

---

1. D'après MM. Müntz et Girard.
2. On en trouve dans l'Indre-et-Loire, dans le Loir-et-Cher, dans le Maine-et-Loire, l'Ille-et-Vilaine, etc.
3. Les calcaires marins de toute nature ont été une source de richesse pour la Bretagne; c'est avec eux qu'a été complètement transformée, sur une largeur de 30 à 40 kilomètres, la bande de littoral comprise entre Saint-Malo et Brest, et qu'on a nommée la *Ceinture dorée*.

CHAPITRE XXIV

ENGRAIS DIVERS

I. — LE PLÂTRAGE

154. *Le plâtrage a pour but d'incorporer au sol une certaine quantité de plâtre en vue de favoriser le développement des plantes.*

Le plâtre est depuis de longues années utilisé en agriculture avec succès.

L'expérience a montré que le *plâtre agit efficacement sur les plantes de la famille des légumineuses* (luzerne, sainfoin, trèfle, etc.), et quelquefois sur les crucifères; il n'agit pas ou presque pas sur les céréales et les plantes racines.

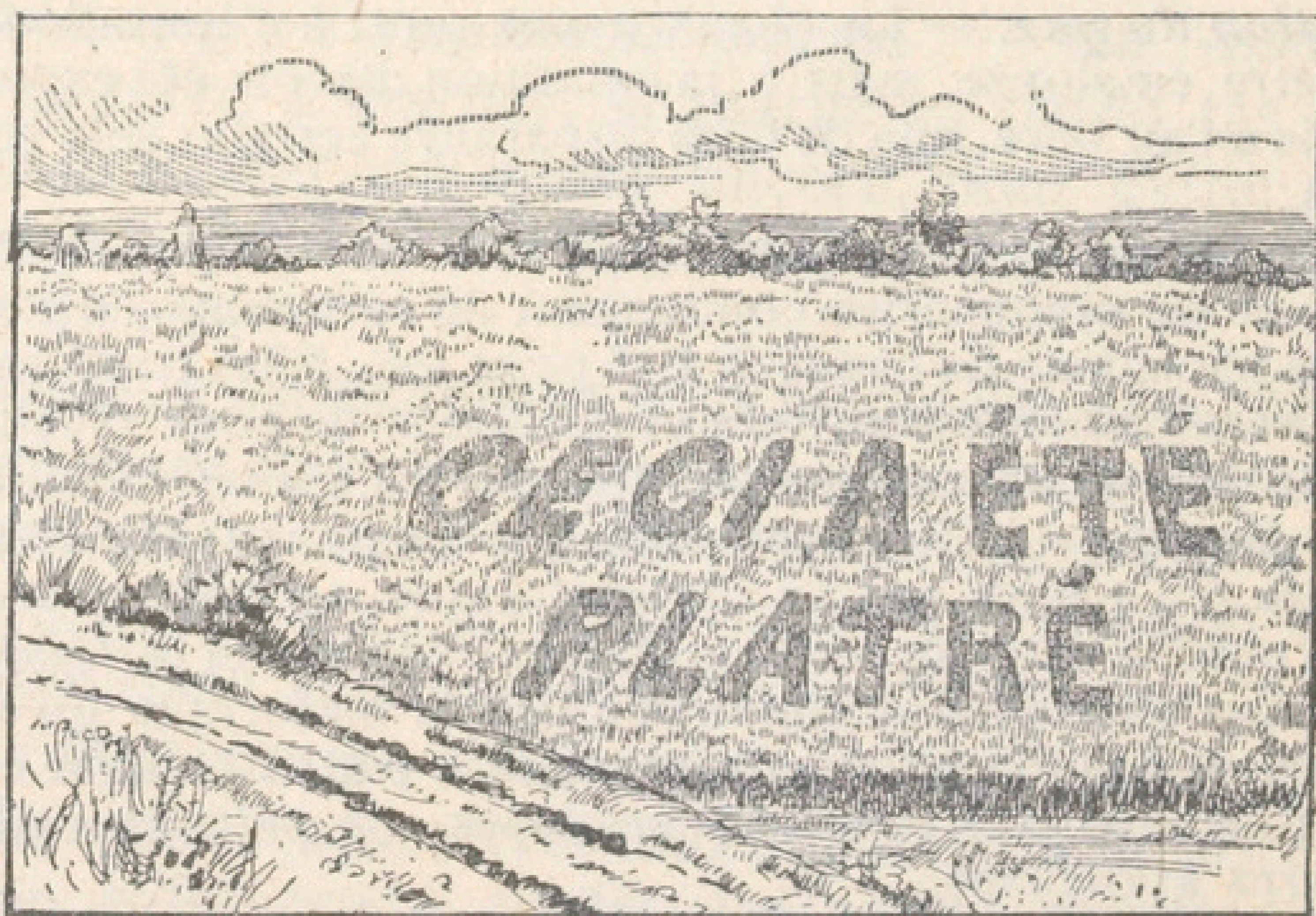


FIG. 43. — EXPÉRIENCE DE FRANKLIN *montrant l'influence du plâtre sur le développement des légumineuses.*

Expérience de Franklin. — Pour montrer l'influence du plâtre sur le développement des légumineuses, Franklin eut l'idée de répandre le plâtre dans un champ de luzerne, de façon à former les mots : *Ceci a été plâtré.* Bientôt, les pieds de luzerne ayant reçu du plâtre, devinrent plus vigoureux, élevèrent leurs feuilles au dessus des plantes voisines et le relief formé par la luzerne elle-même forma les mots : *Ceci a été plâtré* (fig. 43).

Au début, après s'être longtemps refusés à employer le plâtre, les agriculteurs finirent par l'utiliser, puis s'engouèrent

beaucoup de cette matière; on s'imagina qu'elle était un engrais universel et qu'elle allait remplacer tous les autres. Il n'en était rien cependant; « les mécomptes arrivèrent, et l'on reconnut bientôt qu'il n'agissait qu'avec l'aide d'engrais organiques, et que, s'il était très efficace sur certaines plantes (légumineuses) il n'exerçait au contraire aucune action favorable sur beaucoup d'autres (graminées notamment)[1] ».

Fabrication et propriétés du plâtre (*Chimie générale*, p. 141). — Nous avons vu en Chimie générale que les agriculteurs avaient tout intérêt à employer les plâtres crus.

La composition moyenne des plâtres crus de Paris est la suivante :

Sulfate de chaux.	70,4	pour 100.
Carbonate de chaux.	7,6	—
Argile, sable, etc.	3,2	—
Eau.	18,8	—

Comment on emploie le plâtre. — On emploie le plâtre surtout au commencement du printemps, d'avril à mai, au moment où les jeunes feuilles commencent à pousser; on le met en couverture par un temps humide et calme, en saupoudrant la récolte d'une façon aussi uniforme que possible. La dose moyenne est de 400 kilogrammes à l'hectare.

La *durée d'action du plâtre* est limitée, celui-ci étant légèrement soluble dans l'eau. Le plâtre agit surtout sur la récolte à laquelle il est appliqué et un peu sur la récolte suivante. Aussi est-il bon de plâtrer tous les deux ou trois ans.

155. Comment agit le plâtre. — Les agronomes ne sont pas d'accord pour expliquer les causes de l'efficacité du plâtre. Les uns considèrent le plâtre surtout comme un engrais fournissant de la chaux, « engrais calcaire », les autres surtout comme un « engrais sulfurique »; d'autres enfin comme un engrais à la fois calcaire et sulfurique.

Déhérain a démontré que *le plâtre a pour effet de mobiliser la potasse du sol, de la faire passer des couches superficielles, où elle est habituellement retenue, dans les couches profondes où s'enfoncent les racines des légumineuses.*

S'appuyant sur des expériences précises, il résume comme suit l'influence du plâtre sur le développement des légumineuses : « Le plâtre métamorphose en sulfate le carbonate de potasse immobilisé par les propriétés absorbantes de la terre; ce sulfate de potasse décompose l'humate de chaux du sol et le transforme en humate de potasse, dont se saisissent les racines des légumineuses. » (Déhérain.)

Les expériences d'Oberlin, de Battanchon pour la vigne, de Hoc, semblent également démontrer que le plâtre est plutôt un stimulant de la végétation (ou plus exactement un mobilisateur des richesses fertilisantes préexistant dans le sol) qu'un engrais. *D'où la conclusion* qu'il ne faut admettre le plâtre seul que *temporairement*; *pas de plâtre sans autres fumures, pas de plâtre dans les terres appauvries.*

II. — LE SEL MARIN, LES SELS DE FER ENGRAIS CATALYTIQUES

156. Le sel marin. — Les plantes de grande culture ne renferment que des traces de soude. De plus, le sel marin à dose un peu forte est vénéneux; c'est ainsi que les terres salées, au bord de la mer, ne contenant qu'un millième de sel, sont nuisibles aux plantes.

Cependant le *sel marin à dose faible, de 100 à 200 kilogrammes par hectare, est utile aux récoltes. Comment se fait-il que ce sel agisse?* Il agit comme le ferait du chlorure de potassium le sel marin ou chlorure de sodium, en effet, ainsi que l'a démontré Dehérain, ajouté à un sol non absolument privé de potasse, s'y transforme en chlorure de potassium, engrais potassique, dont nous avons parlé (p. 183).

Il est donc préférable d'employer directement le chlorure de potassium.

157. Le sulfate de fer. — Quelques agronomes ont conseillé l'emploi des sels de fer comme engrais.

D'après Müntz et Girard, le sulfate de fer à doses modérées s'est montré indifférent aux récoltes. L'étude de l'action du sulfate de fer (comme engrais catalytique) a été reprise et les résultats obtenus montrent que des essais en grande culture doivent être faits. C'est ainsi que M. Boullanger, dans ses expériences par les méthodes de culture en pots de Wagner, a constaté que l'influence favorisante du sulfate de fer est considérable sur le céleri et sur la pomme de terre; elle est sensible sur la laitue et l'oignon; elle est nulle ou douteuse sur la carotte et le haricot. Le sulfate de fer a eu une action nettement nuisible sur l'épinard, l'oseille et la chicorée.

Si le sulfate de fer, comme engrais, n'est pas utilisé, il est dans tous les cas très employé : 1° en poudre ou en solution, pour détruire les mousses qui envahissent les prairies, pour détruire la cuscute, les moutardes jaunes, etc.; 2° pour combattre la *chlorose* des plantes, notamment de la vigne, dans les terrains calcaires.

158. Engrais catalytiques. — *On appelle engrais catalytiques certaines substances chimiques qui, ajoutées à la terre, provoquent des modifications profondes dans la végétation sans que ces substances paraissent intervenir directement comme aliments des plantes* : leur action est indirecte et encore mal connue. Parmi les engrais catalytiques on peut citer le chlorure et le sulfate de manganèse, le soufre, le sulfate d'alumine, le silicate de soude, le sulfate d'uranium, le sulfate de fer, etc., qui exercent une action favorable sur le développement des plantes sans qu'on sache encore comment s'exerce leur influence[1].

---

1. La *catalyse* est l'influence que certains corps exercent sur la composition chimique de certains autres, sans altération appréciable de leur état propre. Cette influence serait due à une force dite catalytique. Regnault a dit depuis longtemps que la force *catalytique* est une conception de l'esprit qui n'explique rien.

Dans l'étude de certaines réactions chimiques spéciales, on a encore l'habitude d'appeler *catalyseurs* des corps qui, agissant en très petite quantité et par leur simple présence, provoquent des réactions considérables et se retrouvent inaltérés après le phénomène, par exemple les agents qui décomposent brusquement l'eau oxygénée, le sel de cuivre dans le procédé Deacon, etc. Le terme « *engrais catalytique* » a été employé pour la première fois par M. Bertrand dans ses études sur le manganèse. Il a pour but de montrer l'analogie qui existe entre l'action de ces substances et celle des *catalyseurs* en chimie.

M. Gabriel Bertrand montra, il y a quelques années (en 1904), dans des expériences de laboratoire, l'influence favorable du manganèse sur les plantes. Il montra également, dans des expériences faites sur des parcelles de 20 ares, que le sulfate de manganèse employé comme engrais pouvait donner des excédents de récolte de 17 pour 100.

En Europe, différents expérimentateurs (Voelcker en Angleterre, Hjalmar de Feilitzen en Suède, Molinari et Ligot en Belgique, Giglioli en Italie, Garola, Malpeaux en France, etc.) obtinrent avec le sulfate et le chlorure de manganèse des résultats assez contradictoires.

A partir de 1907, de nombreux essais ont été entrepris en France et à l'étranger avec des engrais mis dans le commerce par les usines de manganèse de Las Cabesses (Ariège) : le manganose (carbonate de manganèse et de chaux) et chaux manganésée (chaux et sous-oxydes de manganèse), renfermant tous deux 15 pour 100 de manganèse métal. Les résultats ont été en général favorables.

En 1908, 1909, 1910 et 1911, M. Boullanger, chef de laboratoire à l'Institut Pasteur de Lille, fit une série d'expériences intéressantes par les méthodes de culture en pots de Wagner.

Il résulte de ses essais « qu'on peut augmenter notablement dans beaucoup de cas le rendement de certaines cultures par l'emploi à dose très faible des engrais catalytiques ».

En 1908, 1909, il montra que le manganèse sous forme de chlorure, en 1910 sous forme d'engrais manganésés des mines de Las Cabesses (manganèse et chaux manganésée) agit très favorablement sur le blé, l'orge, l'avoine, les pommes de terre, le trèfle, les pois; il agit beaucoup plus en présence des engrais ordinaires (engrais complet comprenant un engrais azoté, un engrais phosphaté et un engrais potassique) que seul. La présence d'engrais potassiques semble un adjuvant de l'action du manganèse. Le manganèse réduit en général le nombre des épis, mais ceux-ci sont plus pleins, plus gros et la récolte est finalement plus élevée; il influe donc peu sur la paille et beaucoup sur le grain; c'est ce qu'avait remarqué déjà M. Bertrand. De même pour les tubercules : il diminue le nombre des tubercules et augmente fortement leur poids, la récolte est plus élevée.

En 1911, M. Boullanger étudia, en plus du manganèse, l'action d'autres substances telles que le *sulfate d'alumine*, le *silicate de soude*, le *sulfate de fer* et le *soufre en fleur*. Sur les carottes, les céleris, les laitues, l'oseille, la chicorée, les oignons, les épinards : c'est le soufre qui a donné les meilleurs résultats. Sur la pomme de terre, c'est le sulfate d'alumine qui a eu le plus d'action.

M. Boullanger a remarqué dans ses essais en pots « que l'action du soufre est considérable en terre non stérilisée et qu'elle est très faible en terre stérile. Il est donc probable que le soufre n'agit qu'indirectement en modifiant la flore bactérienne du sol et en entravant le développement de certains organismes ». Si le manganèse agit peut-être par lui-même comme engrais, il semble surtout agir comme excitant, en permettant, par un mécanisme inconnu, une utilisation plus grande des éléments fertilisants du sol.

Des expériences en grande culture ont été faites en 1910 et 1911 avec le soufre, sur betteraves et pommes de terre, par M. Chancrin, à Beaune, et M. Desriot, à Gennetines : dans certains cas les excédents de récolte obtenus ont représenté plusieurs fois la valeur du soufre employé; comme dans les expériences de M. Boullanger sur le manganèse, le soufre a augmenté le nombre des *gros* tubercules.

La question des « engrais catalytiques » n'est pas assez résolue pour que nous conseillions aux agriculteurs d'employer ces engrais au même titre que le superphosphate de chaux ou le nitrate de soude par exemple, mais nous leur conseillons vivement de faire des essais.

CHAPITRE XXV

ENGRAIS COMPOSÉS

159. Nous avons vu que les engrais commerciaux ne fournissant qu'un élément fertilisant utile (l'azote, dans le nitrate de soude, par exemple), sont dits *simples*.

Les autres engrais fournissant deux ou plusieurs éléments sont dit *complexes*.

Avec les *engrais simples*, on peut très bien fournir au sol un ou plusieurs éléments qui lui manquent.

Les engrais complexes, au contraire, apportent à la terre non seulement l'élément manquant, mais aussi quelquefois l'élément ne faisant pas défaut, obligeant ainsi l'agriculteur à une dépense inutile. Nous ne pouvons rien contre cet inconvénient, parce que la composition de ces engrais (du fumier, par exemple), ne peut être changée.

En mélangeant des engrais simples entre eux ou encore un ou plusieurs engrais simples avec un engrais complexe, on obtient ce qu'on appelle un *engrais composé*.

Le commerce livre souvent aux agriculteurs des *engrais composés* sous les noms les plus variés : *engrais animal*, *engrais organique complet*, *engrais phospho-azoté*, *phospho-potassique*, etc., ou plus simplement, *engrais pour la vigne*, *engrais pour la betterave*, etc.

Nous mettons en garde les agriculteurs contre ces engrais composés qui, très souvent, sont payés deux, trois, quatre fois leur valeur, ou ne contiennent pas en quantité suffisante les éléments fertilisants annoncés. De plus, en les utilisant, on risque de mettre dans le sol, avec l'élément utile, des éléments existant déjà et payés très chers.

Il faut également remarquer que les engrais composés présentent le grave inconvénient de contenir des matières qui devraient être répandues à des époques différentes.

Ainsi, par exemple, les nitrates, qui y entrent fréquemment en certaine proportion, ne devraient être répandus qu'au *printemps* pour être utilisés par les plantes avant d'être entraînés par les eaux de pluie; les phosphates, au contraire, pour être bien employés par la récolte, doivent être incorporés au sol en automne ou pendant l'hiver.

Quelle que soit l'époque choisie pour répandre l'engrais composé qui les renferme tous les deux, elle sera nécessairement défavorable à la bonne utilisation de l'un d'eux.

Les cultivateurs ont tout intérêt à fabriquer eux-mêmes à la ferme les engrais composés dont ils ont besoin : 1° ils gagnent ainsi la plus-value énorme que les commerçants donnent à ces engrais; 2° ils obtiennent des engrais parfaitement appropriés aux besoins de leur culture parce qu'ils peuvent les fabriquer en tenant compte de la nature de la récolte et de la composition du terrain.

Au cas néanmoins où les agriculteurs désireraient acheter des engrais composés du commerce, ils ne doivent, pour ne pas être trompés, ne les adopter qu'avec garantie de titre et à un prix qui n'excède pas notablement la vraie valeur de ces engrais; cette valeur, d'ailleurs, sera calculée dans chaque cas en faisant la somme des valeurs des divers principes fertilisants qui y figurent. (Voir ce tableau, p. 211).

160. Fabrication des engrais composés à la ferme. — Les matières légères, comme les chiffons de laine, ne se mélangent pas avec les substances plus lourdes; on est obligé de les répandre à part.

Les engrais en poudre fine tels que les phosphates, le sang desséché, etc., se mélangent, au contraire, avec facilité :

Sur une aire plane et propre on vide les sacs d'engrais en formant des tas distincts de chaque substance ayant un poids déterminé. On dispose les différents engrais en couches minces les unes au-dessus des autres sur une épaisseur totale de 25 à 30 centimètres; on recouvre le tout avec une pelle, puis on reforme un tas qu'on défait et refait plusieurs fois par des pelletages. On obtient ainsi un mélange bien fait.

Lorsque les engrais présentent des morceaux compacts plus ou moins durs, on les passe à travers une claie, et les morceaux retenus sont ensuite brisés avec un maillet.

Pour que le mélange soit possible, il faut que les matériaux employés soient secs: quand ils sont humides il se forme une bouillie dont la composition n'est plus uniforme et difficile à répandre : ce cas se présente souvent avec les superphosphates mal fabriqués ou de fabrication trop récente.

Ne faire les mélanges que peu de temps avant leur emploi.

Précautions à prendre. — 1° Ne pas mélanger les superphosphates avec les nitrates, qu'ils décomposent (ne les mélanger qu'au moment de leur emploi);

2° Ne pas mélanger avec le sulfate d'ammoniaque les engrais

contenant de la chaux et en général les engrais à réaction alcaline (chaux vive ou éteinte, scories de déphosphoration, les salins, les cendres, etc.), qui le décomposent avec dégagement d'ammoniaque;

3° En général, ne jamais faire entrer dans les mélanges la chaux vive ou éteinte, sauf avec les sels potassiques.

4° On peut mélanger entre eux, sans crainte d'une réaction, les engrais suivants : les phosphates, les superphosphates, tous les engrais à azote organique et à azote ammoniacal, tous les sels potassiques et sels de fer, et le plâtre.

La figure 44 indique les mélanges que l'on peut faire sans pertes.

Formules d'engrais. — On ne peut établir de formules fixes d'engrais pour chaque culture; on ne peut pas dire, par exemple, pour la culture du blé, qu'il faut des quantités déterminées d'engrais phosphatés, d'engrais potassiques, d'engrais azotés, car les quantités d'éléments fertilisants utilisés par les récoltes dépendent non seulement des récoltes elles-mêmes, mais aussi de la richesse du sol en éléments fertilisants.

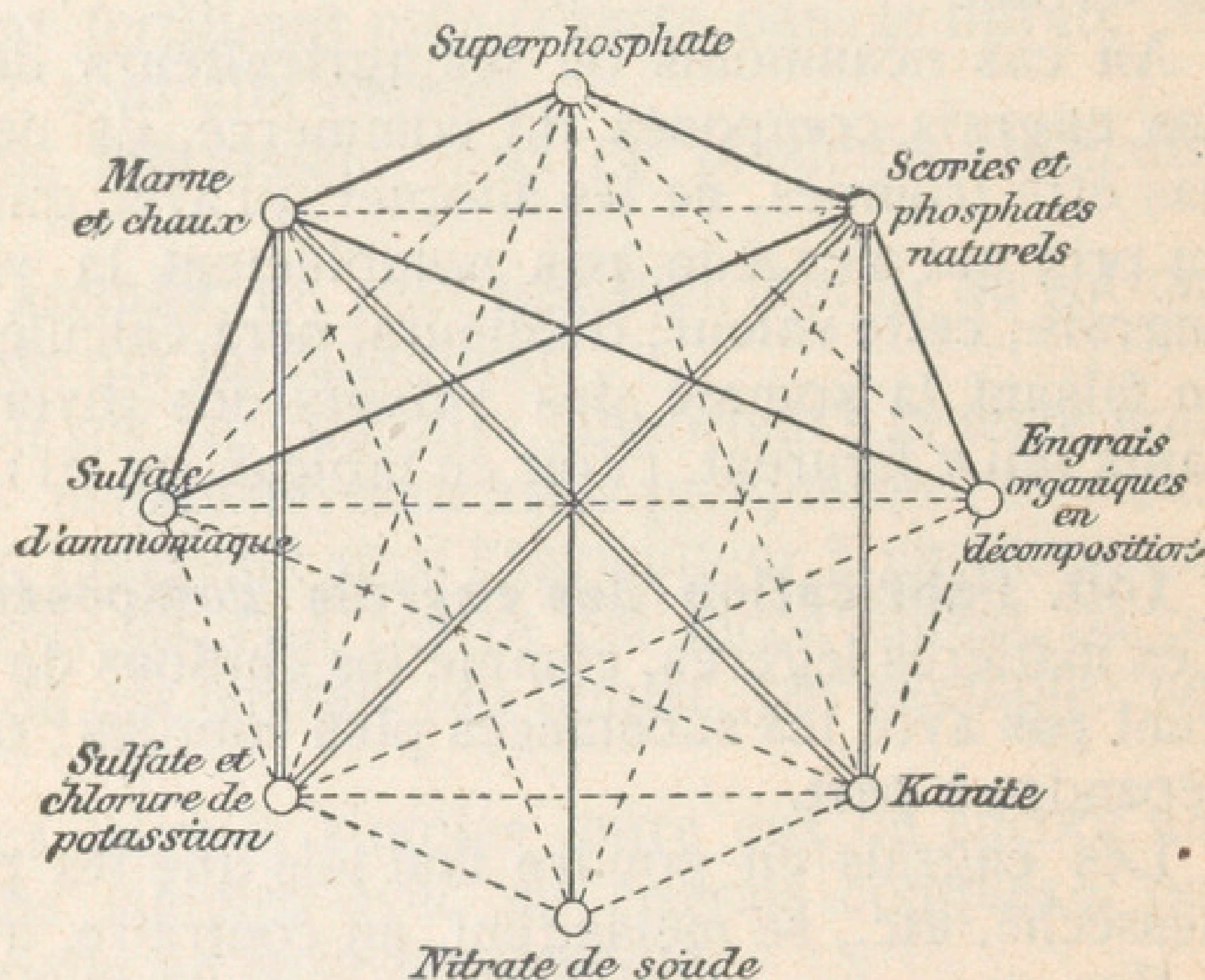


FIG. 44. — MÉLANGE DES ENGRAIS (d'après P. Larue).
Les engrais réunis par une ligne pointillée *peuvent* toujours *être mélangés; les engrais réunis par une ligne* épaisse *ne doivent jamais être mélangés; les engrais réunis par une ligne* double *doivent être mélangés seulement au moment de leur emploi.*

L'agriculteur, en effet, n'a pas intérêt à mettre par exemple dans un sol des engrais potassiques si le sol est suffisamment riche en potasse; il ne doit donner au sol que les matières fertilisantes nécessaires pour compléter le stock des principes assimilables utiles à la production de la récolte. Pour qu'il puisse établir une formule d'engrais applicable à chacune de ses terres, il faut donc qu'il connaisse la composition du sol et les exigences des récoltes en éléments fertilisants.

CHAPITRE XXVI

ACHAT DES ENGRAIS

161. Le commerce des engrais a donné naissance à une foule de fraudes faciles dont l'agriculture a particulièrement souffert : tantôt ce sont des matières inertes n'ayant aucune valeur que l'on mélange aux engrais en poudre sans en changer l'aspect, tantôt ce sont des engrais renfermant des quantités d'éléments fertilisants bien inférieures à celles que l'on peut avoir pour le prix demandé, etc.

Les cultivateurs ne sauraient donc prendre trop de précautions contre les fraudes possibles. Pour plus de sûreté, ils doivent acheter leurs engrais par l'intermédiaire des syndicats agricoles. Ces syndicats, qui font annuellement et directement des marchés d'une grande importance avec les meilleurs fabricants d'engrais chimiques, sont en mesure d'exiger pour la fourniture de ces engrais toutes les garanties possibles.

Syndicats et cultivateurs isolés sont d'ailleurs garantis dans leurs achats par *la loi du 4 février 1888 concernant la répression des fraudes dans le commerce des engrais.*

Voici quelques extraits de cette loi indiquant dans quelles conditions doit se faire la vente :

Art. 3. — Seront punis.... Ceux qui, au moment de la livraison, n'auront pas fait connaître à l'acheteur, dans les conditions indiquées à l'article 4 de la présente loi, la provenance naturelle ou industrielle de l'engrais ou de l'amendement vendu et sa teneur en principes fertilisants.

Art. 4. — Les indications dont il est parlé à l'article 3, seront fournies soit dans le contrat même, soit dans le double de commission délivré à l'acheteur au moment de la vente, soit dans la facture remise au moment de la livraison.

« La teneur en principes fertilisants sera exprimée par le poids d'azote, d'acide phosphorique et de potasse contenus dans 100 kilogrammes de marchandise facturée telle qu'elle est livrée, avec l'indication de la nature ou de l'état de combinaison de ces corps, suivant les prescriptions du règlement d'administration publique.

Toutefois, lorsque la vente aura été faite avec stipulation du règlement du prix, d'après l'analyse à faire sur échantillon prélevé au moment de la livraison, l'indication préalable de la teneur exacte ne sera pas obligatoire, mais mention devra être faite du prix du kilogramme de l'azote, de l'acide phosphorique et de la potasse contenue dans l'engrais tel qu'il est livré, et de l'état de combinaison dans lequel se trouvent ces principes fertilisants. La justification de l'accomplissement des prescriptions qui précèdent sera fournie.

s'il y a lieu, en l'absence de contrat préalable ou d'accusé de réception de l'acheteur, par la production soit du copie de lettres du vendeur, soit de son livre de factures régulièrement tenu à jour et contenant l'énoncé prescrit par le présent article.

Art. 5. — Les dispositions des articles 3 et 4 de la présente loi ne sont pas applicables à ceux qui auront, sous leur dénomination usuelle, des fumiers, des matières fécales, des composts, des gadoues ou boues de ville, des déchets de marchés, des résidus de brasserie, de varechs et autres plantes marines pour engrais, des déchets frais d'abattoirs, de la marne, des faluns, de la tangue, des sables coquilliers, des chaux, des plâtres, des cendres ou des suies provenant des houilles ou autres combustibles.

Puisque la loi du 4 février 1888 oblige le vendeur à garantir la richesse des engrais en azote, acide phosphorique et potasse, et à garantir la forme soluble ou insoluble de ces substances, il est facile de ne pas être trompé sur la nature et la quantité de matières fertilisantes. Il suffit, au moment de l'arrivée des engrais, de prélever des *échantillons de ces engrais*, d'en faire exécuter *l'analyse* afin de juger si leur composition est conforme aux conditions de vente.

162. Comment on prend un échantillon d'engrais. — Cette opération de la prise d'échantillon présente une si grande importance que nous croyons devoir reproduire ici les instructions contenues dans le *Rapport du Comité des stations agronomiques* :

Les engrais peuvent se présenter sous des formes variables : tantôt ils sont pulvérulents, tantôt en masses agglomérées ou pâteuses, tantôt en morceaux durs ou débris plus ou moins gros, tantôt à l'état de pâte plus ou moins liquide, plus ou moins homogène, tantôt enfin à l'état d'un liquide fluide.

Lorsque les engrais sont pulvérulents, et c'est le cas le plus général, leur prise d'échantillon n'offre pas de difficulté. Quand ils sont en sacs, à l'aide d'une sonde suffisamment longue on prendra l'échantillon dans le sac lui-même en procédant de la manière suivante :

On ouvre un des angles du sac et l'on y plonge la sonde en la dirigeant en diagonale vers l'angle opposé ; on répète la même opération successivement sur chacun des quatre angles du sac ; mais lorsque le lot est considérable, il faut répéter la même opération sur un certain nombre de sacs pris au hasard. On réunit tous les produits de ces prélèvements, on les place sur une toile ou sur un papier et on les remue à la main ou avec une spatule assez longtemps pour que l'homogénéité puisse être regardée comme parfaite ; une partie de ce mélange, représentant 300 à 400 grammes, est placée dans un flacon de verre qu'on bouche avec un bouchon de liège.

Lorsque les engrais pulvérulents sont en tonneaux, on perce les deux fonds du tonneau de deux trous, au moyen d'une vrille ; ce trou doit être assez grand pour qu'on puisse y introduire la sonde, ce qu'on fait en s'éloignant autant que possible de l'axe du tonneau. Le mélange se fait d'ailleurs comme précédemment.

Lorsque l'engrais est en tas on peut également se servir de la sonde pour y prélever l'échantillon moyen ; mais il faut avoir soin de faire pénétrer cet instrument jusque dans les parties centrales du tas, de même que jusque dans les parties inférieures. Si le tas est trop volumineux pour qu'on puisse arriver à ce résultat, le meilleur moyen consiste à faire une tranchée vers le centre du tas et à prélever ensuite dans un grand nombre de points placés dans les

diverses parties du tas, en y comprenant ceux que la tranchée a rendus libres, les échantillons au moyen de la sonde.

Lorsque l'engrais est en masse pâteuse ou compacte, et qu'il se trouve en sacs ou en tonneaux, il est indispensable de vider plusieurs sacs pris au hasard sur un plancher ou sur des dalles préalablement balayées; on mélange alors à la pelle le tas obtenu et l'on prélève en différents points de ce tas des pelletées de l'engrais. Ce nouvel échantillon formé est divisé et mélangé, pulvérisé ou concassé, autant que possible, à l'aide d'une batte ou d'un marteau; on mélange finalement à la main cette matière plus ou moins pulvérulente et on l'introduit dans un flacon ou dans une boîte métallique.

Quand l'échantillon est primitivement en tas, on procède de la même manière, en pratiquant une tranchée, comme il a été expliqué plus haut.

On ne doit dans aucun cas, dans l'une ou l'autre de ces opérations, éliminer les pierres ou les parties étrangères de l'engrais; elles doivent entrer dans l'échantillon prélevé, dans une proportion autant que possible égale à celle dans laquelle elles existent dans l'engrais.

Des matières peu homogènes, rognures, chiffons, etc., sont disposées en tas et bien mélangées à la pelle; sur ce mélange, on prélève, à la main, dans un très grand nombre d'endroits, une poignée de matière, on réunit le produit de tous ces prélèvements qu'on mélange à nouveau avec la main et sur lequel on prend finalement l'échantillon destiné à l'analyse.

Moins la matière est homogène plus grand devra être l'échantillon destiné à l'analyse; dans quelques cas il faut prélever jusqu'à 3 et 4 kilogrammes de matière. Cet échantillon est introduit dans une boîte métallique ou dans une caisse en bois hermétiquement fermée.

Les engrais qui sont en pâte plus ou moins liquide (par exemple les vidanges) peuvent présenter deux cas: ou bien ils sont homogènes, et alors il suffit de les mélanger à la pelle et d'en remplir un flacon; ou bien ils se séparent en deux parties, l'une plus fluide, l'autre plus consistante; dans ce cas, il est indispensable de prélever de l'une et de l'autre dans une proportion égale à la proportion dans laquelle elles existent dans le lot à examiner.

Les parties liquides sont remuées et aussitôt, sans laisser le temps de déposer, on en prélève une quantité proportionnelle.

Les parties solides sont divisées à la bêche, on y prélève un échantillon égal proportionnel, et l'on réunit les deux lots dans un grand flacon à large goulot hermétiquement bouché.

La loi du 4 février 1888 indique que la prise d'échantillon doit être faite par le maire ou le commissaire de police et autant que possible en présence du chimiste-expert ou du professeur d'agriculture. En réalité, dans la pratique courante, l'intervention du maire ou du commissaire de police est très rare : on ne peut, en effet, lorsque la gare est assez éloignée de tout centre obliger un maire à se déplacer sans frais relativement élevés. Le chimiste-expert, seul quelquefois pour tout un département, ne peut aussi passer son temps à aller sur tous les points de la région prélever des échantillons.

On a substitué à l'échantillonage indiqué par la loi l'échantillonnage dit *contradictoire*, qui se fait soit *au départ*, soit *à l'arrivée*, suivant les conventions faites entre le vendeur et l'acheteur.

Le mot *contradictoire* signifie que le vendeur et l'acheteur

doivent être représentés à la prise d'échantillon. Si l'un des deux vient à manquer, il y est paré par la présence de deux témoins.

L'échantillonnage au départ ne s'emploie guère qu'entre négociants d'une même ville ou de villes voisines qui peuvent facilement se faire représenter au moment opportun; nous n'en parlerons pas.

L'échantillonnage à l'arrivée, très employé par les syndicats, les acheteurs-consommateurs, doit toujours avoir lieu *en gare*, s'il s'agit d'expédition par chemin de fer, ou *sur le quai* si l'expédition a été faite par mer ou par canal. Toute prise d'échantillon faite en dehors, chez l'acheteur, peut donner lieu à contestation.

Les 3 flacons en verre ou en grès vernis contenant les échantillons d'engrais sont bouchés avec un bouchon en liège, puis cachetés à la cire sur laquelle on appose deux cachets différents : l'un du destinataire pour la partie prenante, l'autre de l'un des témoins pour le vendeur.

« Une étiquette, engagée dans le sceau par une ficelle, porte le nom de l'engrais, celui du fournisseur et de la gare, le numéro du wagon, le nombre de sacs, la date de la prise d'échantillon ainsi que les noms et signatures des personnes qui y ont assisté. En outre, chaque prise d'échantillon doit être constatée par un procès-verbal relatant les opérations ci-dessus. Ce procès-verbal doit être signé du destinataire et des témoins et reproduire l'empreinte des cachets apposés sur les échantillons[1]. »

Un échantillon prélevé sur le tas, au hasard, avec la main, puis enfermé dans un flacon quelconque, sans cachets, n'est d'aucune valeur pour appuyer une réclamation.

163. Conseils pour l'analyse des engrais. — Les agriculteurs ne peuvent songer à analyser eux-mêmes leurs engrais; d'abord parce que ces analyses sont délicates et ensuite parce que, en admettant que le propriétaire puisse exécuter lui-même ses analyses, leur prix de revient serait beaucoup plus élevé que les prix demandés par les stations agronomiques.

Le mieux, quand on veut faire exécuter des analyses, est de s'adresser « aux stations agronomiques, aux laboratoires agricoles dépendant du Ministère de l'Agriculture, ou encore à des laboratoires spéciaux d'une notoriété reconnue[2] ».

Interprétation des résultats d'analyses. — Nous ne décrirons pas les méthodes d'analyses qui n'intéressent que les chimistes

---

1. Instructions du Syndicat central des agriculteurs.
2. Müntz et Girard.

agricoles. Nous ne donnerons que quelques considérations générales sur les résultats d'analyses que les agriculteurs peuvent être appelés à lire et à discuter.

Les résultats de l'analyse d'un même engrais donnés par deux chimistes différents peuvent n'être pas absolument identiques et cependant provenir d'analyses bien faites. On ne peut exiger une précision absolue impossible à atteindre. Les inconvénients de ces divergences sont plus apparents que réels.

« Dans les transactions commerciales, il suffit d'avoir des chiffres se rapprochant assez de la vérité absolue pour que l'écart soit sans préjudice appréciable pour l'acheteur ou pour le vendeur, et il y a une certaine latitude dans laquelle peuvent se mouvoir les résultats que l'on peut appeler pratiquement exacts. Il faut donc admettre un écart permis, une tolérance, entre le titre indiqué et celui que donne l'analyse[1].

« En général, quand les résultats sont rapportés à 100 de matière analysée, le maximum de précision qu'on puisse espérer ne dépasse pas une unité de la première décimale. Encore, dans la plupart des cas, n'est-ce pas d'une unité de la première décimale, mais de plusieurs, que les chimistes peuvent s'écarter pour un même produit. On doit donc regarder comme pratiquement concordants les résultats qui ne diffèrent entre eux que d'un petit nombre d'unités de la première décimale, et ce nombre d'unités pourra être d'autant plus grand que la quantité du corps à doser est elle-même plus grande par rapport à la matière analysée.

« Pour fixer les idées, citons quelques résultats :

ANALYSE D'UN PHOSPHATE NATUREL.

	Acide phosphorique pour 100.
Quantité réelle	17,3
Premier résultat	17,6
Autre résultat	17,0

« Un marchand qui aura vendu avec garantie de 17,3 pour 100 d'acide phosphorique, alors que l'analyse n'aura trouvé que 17,0, n'est donc pas convaincu de fraude, puisque l'écart entre les deux chiffres peut provenir du fait de l'analyse aussi bien que d'un manquant réel. Il n'en serait pas de même si l'écart était plus grand.

1. Extraits des considérations générales jointes au Rapport du Comité des stations agronomiques et des laboratoires agricoles sur les Méthodes d'analyses.

ANALYSE D'UN PHOSPHATE PRÉCIPITÉ.

	Acide phosphorique pour 100.
Quantité réelle	37,0
Premier résultat	36,5
Autre résultat	37,5

« Là encore, nous devons admettre que ces divers chiffres sont suffisamment concordants pour les besoins du commerce et que le vendeur qui aurait garanti 37,0, alors que l'analyse n'a trouvé que 36,5, n'est pas convaincu de fraude.

ANALYSE D'UN NITRATE DE SOUDE.

	Nitrate pur pour 100.
Quantité réelle	92,3
Premier résultat	91,8
Autre résultat	92,8

« Mêmes observations que pour les cas précédents.

DOSAGE D'AZOTE DANS UN ENGRAIS ORGANIQUE.

	Azote pour 100.
Quantité réelle	3,3
Premier résultat	3,4
Autre résultat	3,2

« Ici les quantités étant plus faibles, on ne peut tolérer que de faibles écarts. Ces exemples ne fixent pas les limites; ils ne sont destinés qu'à montrer que les analystes peuvent s'écarter, en plus ou moins, de la vérité absolue. Sans multiplier ces exemples, on peut dire que chaque fois que les écarts ne dépassent pas 1 pour 100 de la substance dosée ou deux unités de la première décimale, les résultats doivent être regardés comme concordants. »

164. Valeur des engrais. — La valeur commerciale des engrais, indépendamment des frais de transport, est évaluée d'après leur richesse en éléments fertilisants : azote, acide phosphorique, potasse. Mais chacun de ces éléments se présente sous des formes différentes qui n'ont pas la même valeur. Ce sont ces valeurs que nous allons examiner en prenant pour base le prix du kilogramme d'élément fertilisant

1° ***Engrais azotés.*** — L'*azote nitrique* des nitrates et l'*azote ammoniacal* des sels ammoniacaux devraient avoir une valeur plus grande que l'azote organique dont l'effet est généralement

plus lent, immobilisant ainsi une partie du capital engagé. Cependant, dans la pratique, l'azote des matières organiques, que les agriculteurs connaissent mieux et qui est par conséquent plus recherché, est vendu parfois plus cher.

L'*azote organique* a des valeurs différentes suivant qu'il provient de matières plus ou moins facilement décomposables : sang désséché, laine, corne, tourteau, etc.

Comment l'agriculteur peut-il se rendre compte de la valeur de ces engrais azotés? Il suffit de consulter un journal d'agriculture où se trouvent les mercuriales et les prix des engrais. On lit par exemple :

Nitrate de soude à 15 pour 100 d'azote, 22 francs les 100 kilogrammes ; cela veut dire que 100 kilogrammes de nitrate de soude, renfermant 15 kilogrammes d'azote nitrique, coûtent 22 francs.

Comme l'azote de cet engrais est le seul élément utile, on peut en déduire que 15 kilogrammes d'azote coûtent 22 francs et que le kilogramme d'azote nitrique vaut $\frac{22}{15}$ = 1 fr. 46.

De même pour le *sulfate d'ammoniaque* : *s'il vaut 32 francs les 100 kilogrammes lorsqu'il contient 20 pour 100 d'azote*, *c'est-à-dire 20 kilogrammes d'azote*, on peut en déduire que le kilogramme d'azote ammoniacal vaut $\frac{32}{20}$ = 1 fr. 60.

L'azote organique peut avoir diverses origines et, par suite, des prix variables. Le sang désséché moulu renfermant de 11 à 13 pour 100 d'azote vaut 19 francs à 21 fr. 50 les 100 kilogrammes, le kilogramme d'azote organique coûte donc $\frac{19}{11}$ = 1 fr. 72 ou $\frac{21,5}{13}$ = 1 fr. 65.

La viande desséchée renfermant 9 à 11 pour 100 d'azote se vend 15 fr. 50 à 18 francs les 100 kilogrammes, le prix du kilogramme d'azote organique varie donc dans ce cas de $\frac{15,5}{9}$ = 1 fr. 73 à $\frac{18}{11}$ = 1 fr. 63. Le cuir désagrégé renfermant 18 pour 100 d'azote est vendu 9 fr. 60, le prix du kilogramme d'azote est donc environ de $\frac{9,60}{8}$ = 1 fr. 20.

Les prix du kilogramme d'azote des différents engrais varient peu d'une année à l'autre ; ce sont approximativement ceux indiqués dans le tableau suivant :

Noms des principaux engrais azotés.	Richesse approximative en matière fertilisante.	Valeur moyenne dans le commerce du Kg. d'azote.	Garanties à exiger pour l'achat, d'après la loi du 4 février 1888.
Nitrate de soude. . . .	Azote nitrique . .	1,30 à 1,50	Richesse en azote nitrique.
Sulfate d'ammoniaque.	Azote ammoniacal.	1,30 à 1,70	Richesse en azote ammoniacal.
Sang desséché	Azote organique .	1,50 à 1,90	Richesse en azote organique et mouture.
Viande desséchée . . .	—	1,60 à 1,70	Richesse en azote organique et mouture.
Cuir désagrégé	—	1,20 à 1,35	Richesse en azote organique et mouture.
Laine.	—	1,50 à 1,60	Richesse en azote organique et nature (bourre, chiffons, etc.).
Corne.	—	1,50 à 1,60	Richesse en azote organique et nature (cornailles, frisons, corne torréfiée ou non).
Tourteau	—	1,40 à 1,90	Richesse en azote organique (sésame, colza sulfuré ou non... en plaques, grumeaux, farines).

2° ***Engrais phosphatés.*** — La valeur de ces engrais dépend évidemment de la valeur de l'élément fertilisant utile, l'acide phosphorique.

Le prix du kilogramme d'acide phosphorique varie avec la nature des phosphates considérés.

L'*acide phosphorique soluble dans l'eau* et l'*acide phosphorique soluble dans le citrate d'ammoniaque* que l'on trouve par exemple dans les *superphosphates*, ayant à peu près la même valeur agricole se vendent généralement au même prix (voir p. 173). C'est la richesse en acide phosphorique soluble à l'eau et au citrate qui caractérise la valeur des superphosphates.

La valeur agricole des *scories de déphosphoration* dépend à la fois de sa solubilité dans le réactif de Wagner et de sa finesse (voir p. 170). Pour avoir de bonnes scories de déphosphoration le cultivateur doit exiger, à la fois, les garanties suivantes : 1° Une finesse de mouture *minimum* de 75 à 80 pour 100 passant à travers les mailles du tamis n° 100 distantes de $0^{mm},17$; 2° une solubilité dans le réactif de Wagner d'au moins 75 pour 100 de l'acide phosphorique total.

L'acide phosphorique insoluble (à l'eau et au citrate), seul présent dans les *phosphates minéraux naturels* a une valeur presque moitié moindre que celui de l'acide phosphorique soluble à l'eau et au citrate. La valeur des phosphates minéraux naturels dépend de leur finesse et de la quantité d'acide phosphorique insoluble qu'ils contiennent. Comme finesse, on peut exiger de 85 à 90 pour 100 au tamis n° 100.

Pour se rendre compte de la valeur commerciale de ces différents engrais, on procède comme nous l'avons indiqué pour les engrais azotés.

1er Exemple. — Si le superphosphate renfermant 15 pour 100, c'est-à-dire 15 kilogrammes d'acide phosphorique soluble à l'eau et au citrate d'ammoniaque, se vend 7 fr. 50 les 100 kilogrammes, le prix du kilogramme d'acide phosphorique est de $\frac{7,50}{15} = 0$ fr. 50.

2e Exemple. — Quel est le plus économique de deux superphosphates, l'un contenant 13 pour 100 d'acide phosphorique soluble à l'eau et au citrate d'ammoniaque au prix de 7,50 les 100 kilogrammes et l'autre 15 pour 100 d'acide phosphorique soluble à l'eau et au citrate à 8 francs les 100 kgr. ?

Le kilogramme d'acide phosphorique du 1er vaut $\frac{7,5}{13} = 0$ fr. 57 et celui du second $\frac{8}{15} = 0$ fr. 53; c'est donc le superphosphate à 15 pour 100 qui est le plus économique.

Le prix du kilogramme d'acide phosphorique des différents engrais phosphatés est approximativement indiqué dans le tableau suivant :

Noms des principaux engrais phosphatés.	Richesse approximative en matière fertilisante.	Valeur moyenne dans le commerce du Kg. d'acide phosphorique.	Garanties à exiger pour l'achat d'après la loi du 4 février 1888.
Superphosphates.	Acide phosphorique (soluble à l'eau et au citrate), 10 à 21 pour 100.	de 0,40 à 0,55	Richesse en acide phosphorique, soluble à l'eau et au citrate, et origine (superphosphate d'os, superphosphate minéral).
Phosphates précipités.	Acide phosphorique (soluble au citrate), 20 à 40 pour 100.	de 0,40 à 0,50	Richesse en acide phosphorique soluble au citrate.
Scories de déphosphoration.	Acide phosphorique des scories. 7 à 20 pour 100.	de 0,20 à 0,25	Richesse en acide phosphorique total; pas de matières étrangères aux scories, finesse de 75 à 80 pour 100 au tamis n° 100.
Phosphates minéraux naturels.	Acide phosphorique insoluble (quantités invariables), 36 au maximum.	de 0,15 à 0,22	Richesse en acide phosphorique total; finesse de 75 à 80 pour 100 au tamis n° 100.

3° ***Engrais potassiques.*** — La potasse des engrais potassiques étant l'élément utile, c'est sa valeur qu'il faut considérer.

Si, par exemple, le chlorure de potassium renfermant 50 pour 100, c'est-à-dire 50 kilogrammes de potasse, vaut 20 francs les 100 kilogrammes, le prix du kilogramme de potasse est de $\frac{20}{50} = 0,40$.

C'est généralement le chlorure de potassium qui fournit la potasse à meilleur marché. Le carbonate de potasse livre la potasse à un prix plus élevé que dans n'importe quel autre engrais potassique, c'est ce qui a beaucoup limité son emploi.

Le prix du kilogramme de potasse, dans les différents engrais potassiques, est indiqué approximativement dans le tableau suivant :

Noms des principaux engrais potassiques. —	Richesse approximative en matière fertilisante. —	Valeur moyenne dans le commerce du Kg. de potasse. —	Garanties à exiger pour l'achat, d'après la loi du 4 février 1888. —
Chlorure de potassium.	47 à 53	de 0,30 à 0,45	Richesse en potasse soluble.
Sulfate de potasse. . .	46 à 50	de 0,50 à 0,60	Richesse en potasse soluble du sulfate.
Carbonate de potasse .	50 à 65	de 0,80 à 0,85	Richesse en potasse soluble du carbonate.
Kaïnite	10 à 13	de 0,50 à 0,55	Richesse en potasse soluble et proportion du sulfate.

4° ***Valeur du fumier.*** — Pour évaluer la valeur réelle du fumier, on additionne les valeurs de chacun des éléments qui y figurent.

1000 kilogrammes de fumier de ferme contiennent en moyenne :

	Prix moyen du Kg. de ces éléments considérés comme seuls (voir plus haut).	Prix total des éléments fertilisants contenus dans le fumier.
5 Kg. d'azote organique et ammoniacal. . .	1,30	6,50
3,5 Kg. d'acide phosphorique insoluble. . .	0,20	0,70
6 Kg. de potasse en partie soluble	0,35	2,10
		9,30

C'est un prix inférieur, en réalité, à celui que représente cet engrais, puisqu'on ne tient pas compte dans le calcul (à cause de la difficulté) des matières humiques qui exercent cependant une influence marquée sur la récolte.

Remarque. — La loi n'oblige pas le vendeur à garantir la richesse d'un fumier en azote, acide phosphorique et potasse; mais on peut s'en rendre compte par l'analyse.

Comment l'agriculteur peut déterminer la valeur des engrais composés. — Le cultivateur est très souvent embarrassé, à l'inspection du bulletin d'analyse fourni par le chimiste ou du prospectus du marchand indiquant la composition de l'engrais, pour savoir si le prix auquel l'engrais est offert est en rapport avec sa composition.

Prenons un exemple : *Un voyageur de commerce offre à un agriculteur, au prix de* 19 *fr.* 50 *les* 100 *kilogrammes, un engrais complet ayant la composition suivante*[1] :

20 à 25 pour 100 de matières organiques (sang, viande, cuir, etc.) correspondant à 2 à 3 pour 100 *d'azote organique.*

11 à 16 pour 100 de phosphate de chaux correspondant à 5 à 7 pour 100 d'*acide phosphorique total dont 2 à 3 pour* 100 *soluble au citrate.*

10 à 15 pour 100 de sels potassiques (kaïnite) correspondant à 1 à 2 pour 100 de potasse soluble.

Calculons le prix réel du mélange.

D'après les cours cités plus haut :

3 Kg.	d'azote organique, au prix moyen de 1,70 le Kg.	5,10
3 —	d'acide phosphorique soluble à l'eau et au citrate à 0,45 .	1,35
4 —	d'acide phosphorique insoluble à l'eau et au citrate à 0,20.	0,80
2 —	de potasse soluble (kaïnite) à 0,50.	1,00
	Total. . . .	8,25

On a donc payé 19 fr. 50 ce qui ne valait au maximum que 8 fr. 25[2].

STATIONS AGRONOMIQUES ET LABORATOIRES AGRICOLES

165. Le Ministère de l'agriculture, pour venir en aide aux agriculteurs, a créé un certain nombre de Stations agronomiques et de Laboratoires agricoles, bien outillés où le public peut faire exécuter les *analyses de terre et d'engrais* à des prix modérés. Ces Stations et Laboratoires sont installés dans les localités suivantes (les Stations sont indiquées en italiques) :

Bourg, Laon, *Alger*, *Réthel*, Foix, Marseille, *Caen*, Olmet (Cantal), *Chartres*, Beaune, *Lézardeau*, *Nîmes*, *Toulouse*, *Bordeaux*, *Montpellier*, *Rennes*, *Châteauroux*, *Tours*, *Blois*, Saint-Étienne, *Nantes*, Orléans, Granville, Châlons, Laval, *Nancy*, *Commercy*, Nevers, *Lille*, *Arras*, Béthune, *Boulogne*, *Lyon*, *Cluny*, *Paris*, *Rouen*, *Melun*, *Grignon*, Versailles, *Amiens*, *Avignon*, Petri, *Poitiers*, *Épinal*, *Auxerre*.

---

1. Cette composition a été prise dans le bordereau de vente fourni par un de ces nombreux commis-voyageurs qui exploitent plus ou moins les agriculteurs en leur faisant payer des engrais au double ou au triple de leur valeur.

2. Il est à remarquer que le commis-voyageur n'a pas *trompé* l'acheteur au *sens légal du mot*, puisqu'il a indiqué la composition de l'engrais vendu. C'était à l'acheteur à déterminer lui-même la valeur réelle de l'engrais offert.

CHAPITRE XXVII

ESSAIS CULTURAUX POUR DÉTERMINER L'EFFICACITÉ ET L'UTILITÉ DES ENGRAIS

166. Nous avons vu, à propos de l'étude des différents engrais chimiques, que des expériences culturales étaient nécessaires pour déterminer l'utilité de ces engrais.

L'analyse chimique du sol ne peut, en effet, remplacer ces essais. Elle fournit bien des indications générales sur la nécessité de tel ou tel engrais, surtout quand le terrain analysé est très pauvre ou très riche en éléments fertilisants. Mais, quand le sol est moyennement riche (c'est le cas qui se présente le plus souvent), les indications fournies par les analyses sont insuffisantes : nous ne savons plus s'il est nécessaire d'employer tel ou tel engrais et à quelle dose.

D'ailleurs, nous ne connaissons pas très bien l'état d'assimilabilité des principes fertilisants du sol; de sorte que l'analyse peut nous faire penser qu'il y a assez de potasse, par exemple, dans un sol, alors que des essais pratiques nous indiquent que les engrais potassiques augmentent sensiblement le rendement.

L'analyse chimique, qui ne doit jamais être négligée lorsqu'on se trouve en présence de terres dont les aptitudes sont insuffisamment connues, doit donc être complétée par des essais culturaux; non pas des essais d'une durée d'un an, mais de plusieurs années.

Choix et établissement du champ d'essais. — Il est rare qu'un domaine présente dans toute son étendue le même sol; il peut se faire qu'il y ait, par exemple, deux espèces de terrains; sablonneux et silico-argileux. Il faut que chaque sorte de terrain ait son champ d'expériences.

La pièce de terre choisie doit être aussi homogène que possible, c'est-à-dire ne pas présenter certaines parties plus riches que d'autres, sans quoi les résultats fournis par les différentes parcelles établies dans la suite ne seraient pas comparables entre eux. Il suffit pour cela d'examiner la végétation dès l'année précédente; si cette végétation est uniforme, on peut admettre que le sol a une régularité suffisante.

Étendue et disposition des parcelles. — Les essais faits sur de grandes surfaces seraient trop coûteux et demanderaient trop de travail. Des surfaces d'un are suffisent. En

général, on emploie des carrés de terrain de 10 mètres de côté.

Dans les pays où on laboure en billons, nous ne conseillons pas d'employer des carrés. En effet, si sur deux carrés, par exemple, l'un contient le petit fossé qui borde la planche et dans lequel la végétation est toujours moindre, les résultats fournis par les deux carrés en question ne seront certainement pas comparables, à moins de prendre de grandes précautions peu pratiques pour des agriculteurs.

Les parcelles, dans le cas de labours en billons, devront être établies dans le sens de la longueur des planches : les planches ayant généralement 3 mètres de largeur, on en prendra 2 (soit 6 mètres) et 16^m,65 de longueur, soit 1 are de surface.

Si l'espace est suffisant et que le nombre des parcelles à établir soit assez restreint, on peut prendre 4 planches, soit 12 mètres de large, et 16^m,65 de long, soit 2 ares de surface,

Les différentes parcelles ne devront jamais être entourées de chemins, de sentiers et ne devront pas avoir de bords libres. Il faut, en un mot, qu'elles soient comme noyées dans l'ensemble de la culture. Car, en effet, si les bords des parcelles sont dégagées, s'il y a un chemin, les plantes se développeront à ces endroits plus librement et les résultats pourront être faussés.

Établissement des parcelles. — Prenons un exemple : Nous voulons déterminer quels sont les besoins du sol au point de vue de l'azote, de l'acide phosphorique et de la potasse, éléments fertilisants les plus utiles. Nous emploierons la disposition suivante :

A 2 ou 3 mètres des bords du champ, dans le sens de la longueur des planches, nous établirons 9 parcelles comprenant chacune 2 planches de 3 mètres de large et ayant 16 mètres 65 de long (ou bien nous établirons des carrés d'un are).

DISPOSITION DES PARCELLES.

Témoin (pas d'engrais).	Nitrate de soude (2 à 3 kilogrammes).	Sel de potasse et nitrate de soude.
Superphosphate seul 4 à 5 kilogrammes.	Superphosphate et nitrate de soude.	Superphosphate, nitrate de soude et sel de potasse.
Sel de potasse (sulfate de potasse 2 à 3 kilogrammes).	Superphosphate et sel de potasse.	Témoin (pas d'engrais).

Chacune des parcelles sera séparée de sa voisine par un espace de 2 mètres au moins, espace cultivé comme le restant du champ, sans chemin, sans aucun sentier. Un piquet aux quatre coins de chaque parcelle suffira pour la limiter. Comme

engrais azoté, nous emploierons, par are, 2 à 3 kilogrammes de nitrate de soude ou de sulfate d'ammoniaque; comme engrais phosphaté, 2 à 3 kilogrammes de sulfate de potasse.

Nous conseillerons toujours de faire les expériences en double, c'est-à-dire d'établir 2 parcelles à engrais phosphaté seul, 2 parcelles à sel de potasse, etc. Les expériences faites non en double peuvent parfois donner des résultats douteux, surtout quand ces parcelles ne sont que de 1 are et que le sol n'est pas très pauvre.

Dans l'exemple précédent, si l'expérience est faite en double, on aura 18 parcelles au lieu de 9, ce qui est beaucoup. Si ce nombre de parcelles effraie l'expérimentateur, il pourra n'employer que 9 parcelles, mais alors de 2 arcs chacune, ou bien encore employer la distribution suivante :

1° 2 parcelles avec nitrate de soude, superphosphate et sulfate de potasse;

2° 2 parcelles avec nitrate de soude et superphosphate;

3° 2 parcelles avec nitrate de soude et sulfate de potasse;

4° 2 parcelles avec sulfate de potasse et superphosphate.

Si dans les parcelles 2° le rendement est moins élevé que que dans les parcelles 1°, c'est que la potasse supprimée dans 2° est un élément utile au sol.

Si dans les parcelles 3° le rendement est moins élevé que dans 1°, c'est que l'acide phosphorique était également utile.

Point très important sur lequel nous appelons tout particulièrement l'attention des agriculteurs : dans les terres pauvres, par exemple, en acide phosphorique et en azote, il ne faut jamais essayer un engrais azoté (nitrate de soude ou sulfate d'ammoniaque) sans mettre dans le sol un engrais phosphaté. Un exemple nous fera mieux comprendre : dans un sol très pauvre en acide phosphorique et pauvre en azote nous désirons savoir si le nitrate de soude donne un excédent de rendement. Il ne faudra pas se contenter d'employer deux parcelles :

1re Parcelle : contenant du nitrate de soude (2 kilogrammes);

2e Parcelle : terrain ne contenant pas d'engrais.

Il faudra mettre dans les deux parcelles 4 à 5 kilogrammes de scories de déphosphoration ou de superphosphate apportant de l'acide phosphorique, car dans ces terres pauvres en acide phosphorique, les céréales donneraient, sous l'action des engrais azotés, beaucoup de paille et pas de grains.

De même, si on essaye l'acide phosphorique sans ajouter aux parcelles des engrais azotés, on n'obtiendra que des résultats insignifiants. Nous avons vu en effet (p. 30) que si l'un des éléments fertilisants fait défaut les autres ne servent à rien.

Quantités d'engrais à employer au point de vue de la comparaison des engrais entre eux. — Pour que les comparaisons entre les différents engrais aient quelque valeur, il est indispensable d'employer ceux-ci en quantité nettement déterminée.

On peut adopter deux procédés : 1° employer les engrais qu'il s'agit de comparer en quantité telle, qu'une même surface du champ d'expériences reçoive une même quantité de l'élément réellement utile. Exemple : nous voulons comparer le nitrate de soude au sulfate d'ammoniaque. L'élément utile dans ces deux engrais est l'azote. Il faut que les parcelles à nitrate contiennent la même quantité d'azote que les parcelles à sulfate.

Supposons que le sulfate dose 20 pour 100 d'azote et le nitrate 15,5 pour 100 d'azote. (Ces résultats d'analyse sont le plus souvent donnés par les syndicats.)

Si nous employons 200 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque à l'hectare (soit 2 kilogrammes par are), ils contiendront 2×20, soit 40 kilos d'azote.

Il faut alors employer une quantité de nitrate telle, qu'elle contienne ces 40 kilogrammes d'azote. Or, le nitrate de soude dont nous avons parlé contient 15,5 pour 100 d'azote. Donc, autant de fois 15,5 seront contenus dans 40, autant de fois 100 kilogrammes de nitrate il faudra utiliser, soit :

$$\frac{40 \times 100}{15{,}5} = 258 \text{ kilogrammes.}$$

On peut faire de même pour comparer le chlorure de potassium et le sulfate de potasse.

2° Le procédé le plus simple, celui qui présente le plus d'intérêt pour l'agriculteur, celui enfin que nous conseillons au praticien, consiste à employer les engrais à comparer, non pas à égalité de matière fertilisante, mais à égalité de prix. Exemple : nous voulons comparer le superphosphate de chaux aux scories de déphosphoration.

Supposons que les scories coûtent 4 fr. 20 les 100 kilogrammes et le superphosphate 7 fr. 50 les 100 kilogrammes.

Si nous employons 1000 kilogrammes de scories à l'hectare (soit 10 kilogrammes par are) les frais sont de 4 fr. $20 \times 10 = 42$ francs. Il faudra alors employer pour 42 francs de superphosphate. Or les superphosphates coûtent environ 7 fr. 50 les 100 kilogrammes.

Autant de fois 7 fr. 50 seront contenus dans 42 francs, autant de fois 100 kilogrammes de superphosphate il faudra employer, soit :

$$\frac{42 \times 100}{7{,}50} = 560 \text{ kilogrammes.}$$

Il est bon de faire pour chaque engrais, une fois le choix arrêté, des essais à dose graduée de 150, 200, 300 kilogrammes à l'hectare, afin de déterminer quelle est la dose qui donne le résultat pécuniaire le plus élevé. Il n'est pas rare, en effet, que de fortes quantités d'engrais soient payées par les récoltes à des prix relativement plus élevés que des doses trop faibles.

Enfin, pour que les différences constatées entre les résultats que donnent les différentes formes de l'engrais soient plus frappantes, il convient de choisir de préférence, pour chaque type d'engrais, les plantes qui répondront le mieux à leur application; pour les engrais potassiques choisir les légumineuses (vesces, luzerne); pour les engrais phosphatés, les céréales.

Récolte. — La récolte sera toujours pesée (grains et paille séparément).

Il ne faut pas se contenter de juger les résultats à l'inspection superficielle de la récolte comme le font beaucoup d'agriculteurs. L'œil saisit difficilement les différences et, sans la pesée, on risque de laisser de côté des bénéfices qui ne sont souvent pas à négliger.

Durée des expériences. — Le nitrate de soude, le sulfate d'ammoniaque sont directement utilisés par la culture d'une année; les engrais phosphatés, au contraire, produisent des effets sur plusieurs récoltes successives. De plus, certains engrais, comme les scories, ne produisent des effets marqués qu'à partir de la 2e année. Aussi, ce n'est pas sur une seule année que devront porter les observations, les expériences, mais sur plusieurs années successives, comprenant par exemple la durée de l'assolement.

Et d'ailleurs, même pour le sulfate d'ammoniaque et le nitrate de soude, il ne faudra pas se hâter de tirer des conclusions à la fin d'une année seulement. Car pour ces engrais, la pluie, la température sont des facteurs très importants qui peuvent varier d'une année à l'autre. Ce n'est qu'au bout de 3 ou 4 ans que l'on peut tirer des conclusions certaines.

CULTURES DÉMONSTRATIVES

Pour montrer l'influence des principaux éléments fertilisants (azote, acide phosphorique, potasse, chaux) et par conséquent des engrais sur le développement des plantes, pour montrer également que les plantes ont besoin *à la fois* des quatre principaux éléments fertilisants (voir page 30 et Loi du mini-

mum, p. 110), on peut faire certaines *cultures démonstratives* en pots (fig. 45) avec de la terre à peu près stérile ou épuisée (ni trop argileuse ni trop siliceuse) et un mélange d'engrais phosphatés, potassiques et azotés.

Comme formule d'engrais on peut employer par 2 kilogrammes de terre :

Nitrate de soude (azote)	2 grammes.	que l'on mélange intimement avec la terre.
Superphosphate de chaux (acide phosphorique)	3 —	
Chlorure de potassium (potasse). .	2 —	

Il faut environ trois à quatre grammes de ce mélange pour 1 kilogramme de

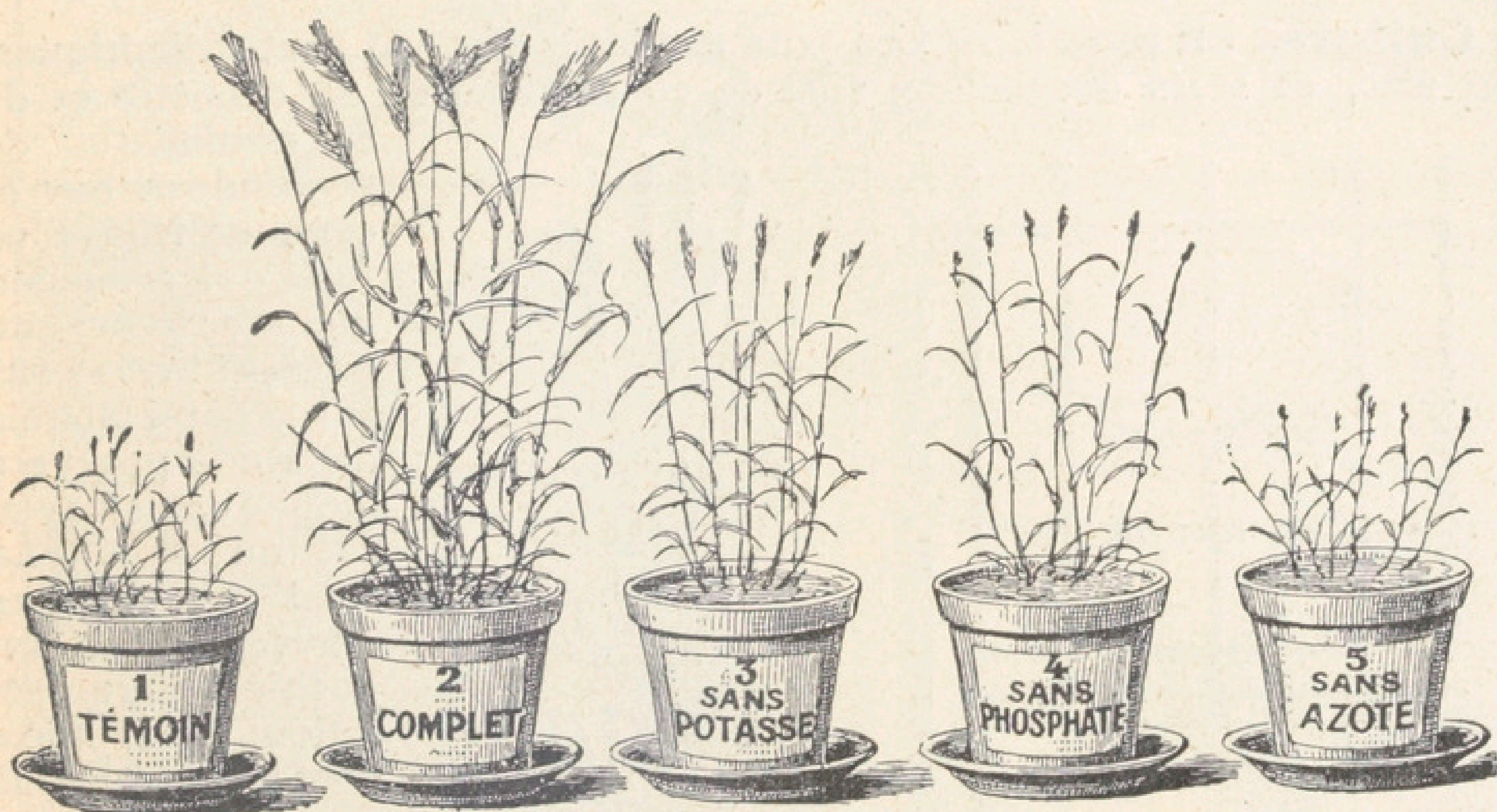


FIG. 45. — CULTURE DÉMONSTRATIVE.

terre ou 5 kilogrammes par are, au cas où les cultures démonstratives sont faites en pleine terre.

Les pots sont arrosés quand il est nécessaire, ou mieux encore on peut les disposer sur des assiettes et arroser quand il n'y a plus d'eau dans ces assiettes, sans exagération cependant pour que l'eau ne se déverse pas, ce qui ferait perdre une partie des engrais solubles (nitrate de soude par exemple).

Dans chaque pot on sème 7 à 8 grains d'avoine ou d'orge.

Pour les expériences on procède comme nous l'avons indiqué pour l'établissement des parcelles des essais culturaux, p. 218 :

Le pot n° 1 ne reçoit aucun engrais, c'est le *temoin.*

Le pot n° 2 reçoit *l'engrais complet* (mélange de 3 engrais).

Le pot n° 3 reçoit de l'azote (nitrate de soude), de l'acide phosphorique (superphosphate), mais pas de chlorure de potassium, c'est-à-dire de potasse.

Le pot n° 4 reçoit de l'azote (nitrate de soude), de la potasse (chlorure de potassium), mais pas d'acide phosphorique, c'est-à-dire pas de superphosphate.

Le pot n° 5 reçoit de l'acide phosphorique (superphosphate), de la potasse (chlorure de potassium), mais pas d'azote, c'est-à-dire de nitrate de soude.

La comparaison des cultures des différents pots permet de voir l'influence des engrais, l'influence de l'absence d'un élément fertilisant, etc. L'expérience faite dans des pots, p. 119, montre l'importance des pertes d'azote du fumier exposé à l'air, dans les étables ou au dehors.

MÉTHODES DE CULTURES DE WAGNER

Les méthodes de Wagner ont pour but de déterminer : d'une part la *valeur culturale* des engrais à l'aide de cultures en pot ; d'autre part le *mode d'emploi* de l'engrais à l'aide de cultures expérimentales en plein champ et sur grande surface.

Cultures en pots[1]. — Les pots employés (fig. 46) sont cylindriques, en zinc, et leurs dimensions sont de 20 centimètres de diamètre et de 20 centimètres de profondeur. Sur le côté, se trouve un tube qui communique avec le fond du pot et s'ouvre en bas sur la paroi latérale dans une gouttière mobile dentelée placée au fond. Le fond n'ayant pas d'ouverture, ce dispositif assure l'aération de la terre contenue dans le vase. Le pot est maintenu sur trois pieds, et on peut y fixer à la partie supérieure un grillage cylindrique léger, en fils de fer, pour maintenir les tiges des plantes quand elles sont élevées.

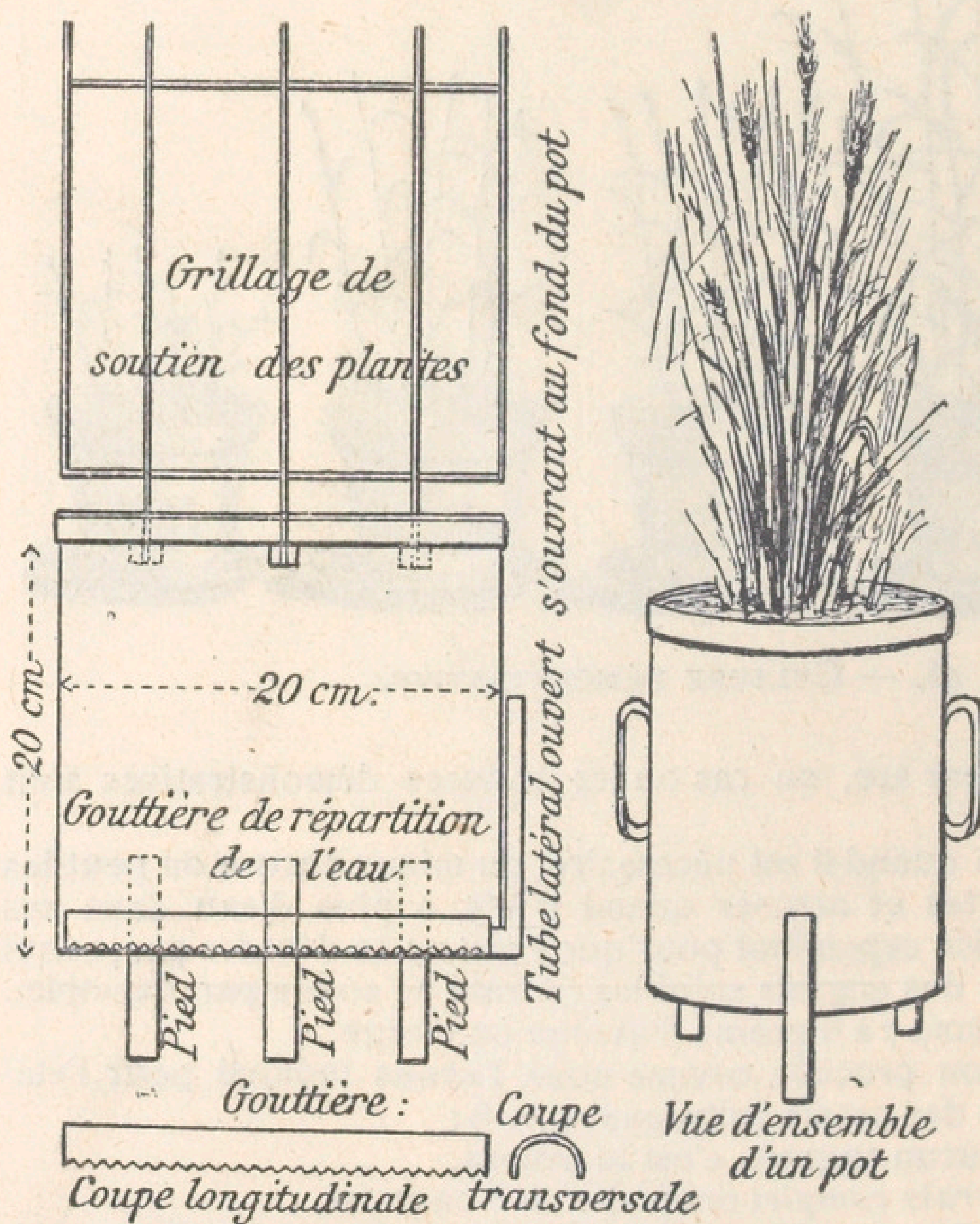


FIG. 46. — POTS EMPLOYÉS A LA STATION DE VÉGÉTATION DE L'INSTITUT PASTEUR DE LILLE.

Ces pots sont placés sur de grands chariots qui roulent sur rails ; on peut ainsi les ramener rapidement au dehors, ou les rentrer au contraire sous un hall vitré. Le hall de végétation est constitué par un bâtiment complètement ouvert sur un côté, et vitré sur les autres faces, présentant l'aspect d'une petite gare ter-

1. Nous ne saurions mieux faire que de reproduire la description faite par M. Boullanger, chef de laboratoire à l'Institut Pasteur de Lille, à propos de ses études expérimentales sur l'orge de brasserie (*Annales de l'Institut national agronomique.*)

minus. Ses dimensions, à la station de végétation de Lille, sont de 7 m. 50 de longueur, 9 m. 50 de largeur et 5 m. 25 de hauteur. Sur le côté se trouvent des châssis roulants mobiles, très larges, qui permettent une aération parfaite; sur le toit sont disposés dans le même but des auvents. La toiture vitrée, très élevée, ne peut exercer aucun forçage sur les plantes, et l'aération facile qui se produit, grâce aux ouvertures latérales, assure à l'intérieur une température très voisine de celle du dehors. Les plantes sont donc simplement protégées des vents et des pluies quand elles sont abritées sous le hall. La figure 47 représente la disposition d'ensemble du bâtiment et

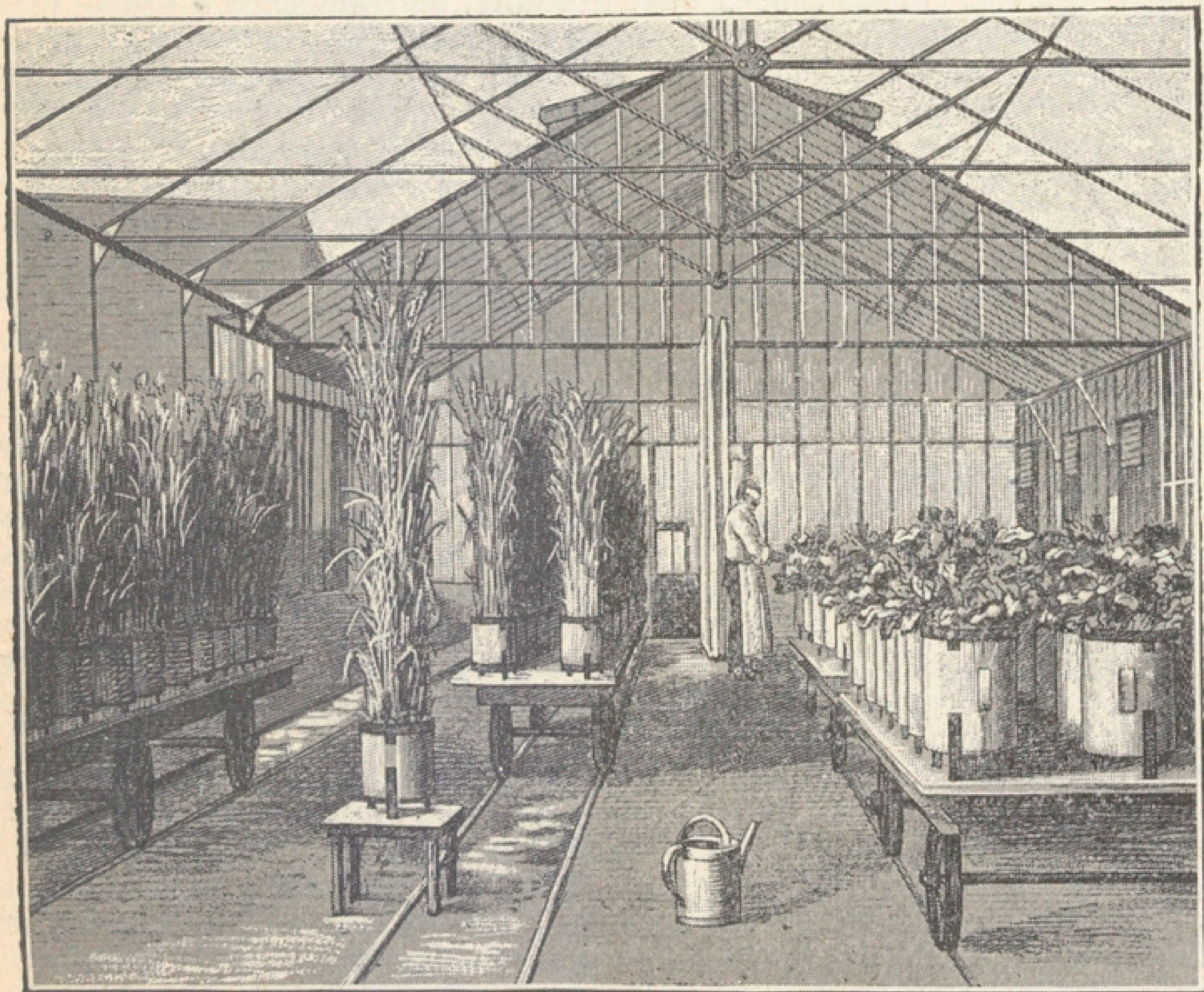


FIG. 47. — LE HALL DE VÉGÉTATION AVEC SES CULTURES EXPÉRIMENTALES A L'INSTITUT PASTEUR DE LILLE.
(*cultures expérimentales d'orge et de betterave*.)

des cultures expérimentales. La partie découverte est munie d'un filet de fil de fer pour protéger les cultures contre les oiseaux.

Les essais s'effectuent de la façon suivante : On commence par placer au fond du pot environ 500 grammes de gros gravier, à grains de 6 millimètres environ, pour former une couche perméable à l'air, et on amène avec ce gravier tous les pots à un même poids sur la bascule. On pèse alors pour chaque pot la même quantité de terre, qui est en moyenne, pour les pots de 20 cm × 20 cm, de 7 kilogs; on y ajoute les engrais à étudier, on les mélange intimement à la terre et on introduit celle-ci dans le pot. La terre doit être passée au préalable au tamis à mailles de 0 cm, 8 et ne pas être trop humide. Chaque pot porte un numéro d'ordre qui correspond à une expérience déterminée et pour chaque essai on fait toujours deux ou trois

pots identiques. La terre placée dans chaque pot est alors additionnée d'un demi-litre d'eau, quantité largement suffisante pour les besoins de la plante. Cette proportion représente environ 50 pour 100 de la faculté d'imbibition de la terre pour l'eau. On ensemence alors les grains à étudier à raison de 15 par pots, par exemple, en ayant soin d'en mettre le même nombre dans tous les pots. On achève alors de remplir le pot avec 700 grammes de terre sèche comme couverture et on amène ainsi tous les pots au même poids. La mise en marche des expériences se fait ordinairement à la fin de mars.

Tous les pots restent alors sur les chariots, sans arrosage et sous le hall (fig. 47) largement ouvert et aéré, à l'abri de la pluie et des intempéries, jusqu'à la levée. Quand celle-ci s'est produite, on commence à rouler tous les jours les chariots au dehors, lorsqu'il fait beau, mais on les rentre par le mauvais temps et toutes les nuits. Au bout de deux semaines, quand les plantes ont environ 7 à 8 centimètres, on commence à les peser et à rétablir le poids primitif en rajoutant l'eau consommée et évaporée. On utilise pour cette opération l'eau de pluie recueillie dans une citerne. Tous les jours, on ramène au poids primitif, bientôt les plantes sont assez fortes pour pouvoir rester sans cesse au dehors et recevoir les pluies. A partir de ce moment, on laisse toujours les pots au grand air; la quantité d'eau qui peut tomber est très rarement suffisante pour compenser l'évaporation et la consommation par la plante, et chaque jour d'abord, puis deux fois par jour quand la végétation est active, on rétablit le poids primitif par addition d'eau de pluie. On augmente légèrement ce poids toutes les semaines d'après un barême qui donne la quantité approximative de plante formée suivant sa hauteur au-dessus de la terre. Les plantes ne sont rentrées sous le hall qu'en cas d'orage ou de mauvais temps persistant. Tous les pots sont ainsi maintenus dans des conditions rigoureusement identiques jusqu'au moment de la récolte. Les hautes tiges et les épis sont protégés contre les vents par de légers cylindres en fil de fer qu'on place sur chaque pot. Quand le grain est mûr, on coupe les plantes au niveau du sol, on pèse les récoltes et on procède à l'échantillonnage.

On voit que par ces méthodes on est tout à fait indépendant des influences extérieures : on peut ainsi faire des comparaisons extrêmement précises, et ce mode d'expérimentation est le plus rigoureux qu'on puisse adopter, quand une question peut être tranchée par l'expérience en pots. En outre, on réalise en quelque sorte des conditions idéales de culture. Les plantes se trouvent placées dans des pots en zinc, qui utilisent pour le mieux la chaleur solaire; l'arrosage journalier est évidemment plus parfait que l'humidité du sous-sol; l'aération est facilitée par le tuyau latéral et le drainage en cailloux du fond; les plantes sont à l'abri de toutes les perturbations atmosphériques. Nous pouvons donc prévoir que les résultats que nous obtiendrons par ces méthodes seront exceptionnellement favorables; ils constitueront en quelque sorte des résultats pratiques vus à la *loupe*, les conditions les meilleures de culture étant ici portées à leur maximum. Il ne faut donc pas généraliser les rendements obtenus par ces méthodes pour les rapporter à la pratique[1]; on doit demander seulement à ce mode d'expérimentation de nous donner des directions précises d'études, et d'une façon certaine le *sens* des actions étudiées. Sous ce rapport, ces cultures bien comprises présentent des avantages énormes. Elles fournissent, grâce à leur précision, des bases rigoureuses *pour l'expérimentation pratique ultérieure*, des points de départ bien définis, et évitent tous les tâtonnements, les aléas, les longueurs et les

1. En déduire, par exemple, le rendement à l'hectare que l'on pourrait obtenir dans un champ, comme on l'a fait trop souvent jusqu'ici à propos des expériences faites aux élèves de l'école primaire.

répétitions que comporte l'expérience pratique directe. Leur commodité et le peu d'espace qu'elles exigent permettent de multiplier les essais, de serrer ainsi de plus près les problèmes, et d'obtenir rapidement des résultats d'ensemble. Elles permettent encore de traiter d'une façon rigoureuse la question des relations de composition chimique entre le sol et les cultures. On peut enfin, grâce à leur emploi, réaliser en quelque sorte l'analyse physiologique du sol par la plante, et avoir des renseignements rapides sur l'assimilabilité des éléments fertilisants contenus dans les terres expérimentées, ce que l'analyse chimique ne peut faire. Pour la potasse et l'acide phosphorique par exemple, on peut souvent obtenir par cette méthode des connaissances précises sur l'action des engrais phosphatés ou potassiques dans les terres étudiées. »

« Cependant, la végétation en vases, dit M. Grière, diffère assez notablement de la végétation des champs : si les facteurs sont les mêmes des deux côtés, ils n'ont pas cependant des deux côtés une action égale. Dans la culture pratique, le sol, ou plutôt sa composition physique, est le facteur principal, décisif, qui peut, suivant les circonstances, diminuer énormément et même anéantir les autres facteurs : dans les vases, comme nous l'avons vu, ce facteur est réduit à une importance minima et presque nulle, et les autres influences végétatives, favorisées encore par une intervention artificielle (l'eau, l'air et la chaleur), exercent leur rôle tout-puissant, qui assure à la fumure son action complète. En éliminant du sol des champs, par le fait de la culture en vases, la condition même qui fait sa variété et souvent son infériorité, nous avons porté à leur maximun, pour ainsi dire, les autres facteurs de la culture : nous avons fait un terrain uniforme en quelque sorte, un terrain se prêtant à l'observation scientifique ; mais, de plus, nous avons réalisé par là même, considéré au point de vue de la culture et en regard du sol naturel, un *terrain idéal*, le meilleur qu'il soit, en fait, possible de concevoir dans les conditions de la culture pratique. Aucun sous-sol n'est comparable à l'arrosoir du jardinier ; aucune moisson ne reçoit plus d'air que la végétation des vases ; aucune terre ne s'échauffe plus vite et n'utilise mieux les rayons du soleil que le vase lui-même et son contenu. Nulle part donc l'engrais ne sera mieux mis à profit et exploité plus complètement ; nulle part il ne produira une récolte plus abondante.

« *Le vase représente donc le champ parfait idéal et les résultats de l'expérience en vase sont des résultats maximum nous fixant sur la limite de ce que l'on peut espérer atteindre dans les cultures en plein champ ; ils peuvent être considérés comme règle dans les calculs de la pratique et posés comme idéal dans l'art de l'exploitation.*

« Connaissant la valeur culturale théorique des engrais en cours dans le commerce, l'agriculteur doit se soucier de savoir de quelle manière son terrain réagit à la fumure ; il pourra ensuite fixer le rapport du rendement réel de ses champs au rendement idéal indiqué par la théorie : il aura alors en mains tous les éléments d'une culture rationnelle. Or, c'est ici qu'intervient le champ d'expérience. »

Champ d'expérience[1]. — « Le champ d'expérience, tel qu'il est pratiqué par Wagner, présente une signification assez différente de celle qu'on lui attribuait autrefois. Dans l'ancienne méthode, une expérience faite

---

1. Tout ce qui suit est dû à *M. Grière*, chimiste à la fabrique de sucre de Ratisbonne (Bavière), qui a fait dans la *Revue générale des Sciences* (n° du 15 mai 1902) une longue et très intéressante ommunication sur la Culture rationnelle et les méthodes du professeur Paul Wagner.

en plein champ était un essai isolé, sans base et sans moyen de contrôle scientifique; et même, en admettant que l'essai fût bien fait, ses résultats n'avaient qu'une portée très restreinte. De ce qu'un surplus de fumure de 100 kilos de nitrate de soude à l'hectare rapporte, dans un essai fait dans mon champ, un excédent de 200 kilos d'avoine, je n'ai là aucune indication qui décide si ce rendement est normal, et si cette dose d'azote est bien celle qui représente pour moi le plus grand bénéfice net, chose essentielle; j'en suis réduit à renouveler l'essai avec des doses inférieures ou plus grandes; et l'opération devient longue, ennuyeuse et surtout dispendieuse, donc, en pratique, impossible. En outre, aucun résultat de mon essai ne me renseigne *a priori* sur la valeur de mon terrain et la justesse de ma façon d'agir, car, si je ne sais, d'une manière précise, avant de commencer mon expérience, ce que 100 kilos de nitrate peuvent rapporter en théorie, où trouverai-je le point de repère qui me permettra de juger mon expérience elle-même et d'en tirer immédiatement les déductions sûres et pratiques qui m'intéressent? Une telle expérience, en soi, est si peu utile que ses partisans les plus sérieux ne la recommandaient point tant en vue des services directs qu'elle peut rendre au propriétaire du champ d'essai, que dans l'espoir de tirer d'un grand nombre d'expériences du même genre des conclusions théoriques d'une application générale.

« Avec la méthode de Wagner, la situation est changée : le champ d'expérience n'est plus un procédé à tâtons, une opération simplement empirique ou même un leurre pour la culture, en ce sens qu'il risque d'être trop facilement défectueux sans qu'on s'en aperçoive. D'abord, il dépend étroitement de l'expérience en vase, qui le précède logiquement et pratiquement. Celle-ci avait pour but de créer des normes de végétation : ce sont ces normes, comme nous allons le voir, qui nous servirons de base pour établir, diriger et contrôler notre champ d'expérience. La forme en est bien différente, en outre, au lieu de deux, trois ou quatre grandes parcelles de 1/3-1/6 d'hectare chacune, on n'emploie plus que des parcelles de 1 are, carrées autant que possible. Par suite de l'exiguïté du terrain nécessaire, on peut facilement répéter chaque fumure sur trois parcelles différentes non contiguës : la concordance des résultats fixe tout d'abord sur la justesse de l'expérience, et, de plus, la moyenne des trois essais donne en soi un chiffre plus exact pour l'estimation de la récolte. Mais la supériorité du champ d'expérience de Wagner se manifeste surtout dans le genre de questions qu'il est appelé à résoudre et la facilité avec laquelle on peut le manier pour la solution de difficultés en apparence complexes.

« *On peut*, suivant lui, *en établissant un champ d'essais, se proposer deux buts : connaître exactement son sol, savoir ce qu'il rapporte normalement de lui-même et dans quelles proportions ses divers éléments nutritifs concourent, à la formation de la récolte;* ou bien, *connaître l'action des engrais sur son sol, autrement dit, rechercher le maximum de rendement que l'emploi des engrais permettra d'obtenir :* savoir, par exemple, l'effet produit par 100 kilos de nitrate; car, suivant l'année, le climat, le sous-sol, etc., ce chiffre s'éloignera plus ou moins du rendement théorique; et, en outre, expérimenter jusqu'à quelle dose le nitrate produira le même effet ou un effet encore rémunérateur.

Le premier but du champ d'expérience n'est autre qu'une analyse du sol; et on peut dire que, jusqu'à aujourd'hui et pour longtemps encore sans doute, c'est le seul moyen d'analyse exacte et véritablement pratique que nous ayons à notre disposition pour connaître notre terrain. Car, l'analyse chimique, sans nous étendre sur ce point, ne répond pas à la question qu'on lui pose ordinairement : elle ne déterminera aucunement la force de production d'un sol. Si Wagner lui-même a trouvé le moyen d'établir par l'analyse chimique la valeur fertilisante des scories de déphosphoration, on n'a pas

encore pu, et il y a des difficultés infinies à ce qu'on puisse jamais déterminer chimiquement la valeur fertilisante de l'acide phosphorique du sol *L'analyse chimique du sol peut être souvent utile : elle est toujours insuffisante.*

« Une autre méthode d'analyse serait l'essai en vase : de même qu'on mêle à une même terre, dans différents vases, diverses sortes d'engrais, pour en étudier l'action comparée, de même, si l'on met dans des vases des échantillons de divers sols avec la même fumure ou si, pour le même sol, on égalise artificiellement, d'une manière successive, tous les facteurs de la fumure sauf un seul, il est évident qu'on obtiendra des résultats différents permettant de juger comparativement les divers sols ou les éléments nutritifs de chaque sol. Prenons trois sols différents, pesons-en des poids égaux; ajoutons-y seulement les quantités d'azote et de potasse suffisantes : la récolte nous fournira un renseignement comparé sur la quantité d'acide phosphorique soluble contenu dans chaque sol; nous pourrons même nous faire une idée de la quantité absolue d'acide phosphorique contenue dans chacun de ces sols, en prenant pour base, par exemple, la norme de récolte produite par une scorie d'un taux de solubilité donné, et en calculant à quelle quantité de cette scorie correspond l'acide phosphorique de nos divers sols. Cette analyse de végétation en vase est un excellent moyen pour se renseigner d'une manière générale et comparative sur la valeur d'un sol. Le mieux est de semer une plante à végétation rapide, telle que le gazon : on fait trois essais pour chaque sol en donnant chaque fois en excès à la plante deux des trois principes nutritifs qui constituent pratiquement la fertilité du sol et en ne laissant du troisième à sa disposition que ce qu'en contient la terre à analyser. Au bout de quelques semaines et avec peu de soins, l'analyse est terminée.

Mais, qu'on ne s'y trompe pas : cet essai n'a que la valeur d'une analyse qualitative. Nous pouvons seulement en conclure que tel sol a relativement plus de potasse que d'azote ou qu'il est plus riche en acide phosphorique qu'un autre sol où l'azote dominera. Jusqu'à un certain point, et si l'on a déjà un peu l'expérience du procédé, il sera possible d'apprécier plus ou moins grossièrement la quantité d'éléments nutritifs contenue dans le sol; mais, quoique cette méthode soit beaucoup meilleure que l'analyse chimique proprement dite, nous n'en pouvons cependant tirer aucune conclusion précise sur la valeur fertilisante du champ lui-même. Seule, la culture en champ d'expérience peut offrir la portée d'une analyse quantitative du sol exacte et suffisante. Voici comment on procède à Darmstadt :

« On choisit l'endroit du champ qui répond à la moyenne de sa composition, on y mesure des parcelles de 100 mètres carrés, en nombre voulu ; on les limite avec des pieux en bois enfoncés en terre ; on répand l'engrais soigneusement à la main, et les parcelles sont travaillées comme le reste du champ ; la fumure seule diffère pour chacune d'elles ; dès que la plante est levée, on limite les parcelles par une légère rigole ; le moment de la récolte venu, on pèse le produit des différentes parcelles au moyen d'une balance romaine, que l'on porte sur le terrain ; sur chaque parcelle on prélève un échantillon de quelques kilos pour déterminer la matière sèche et au besoin, faire l'analyse chimique.

Le *nombre des parcelles* dans un champ d'expérience dépend des questions que l'on veut résoudre. Pour le cas qui nous intéresse présentement, nous voulons d'abord savoir ce que notre champ rapporte naturellement, sans fumure : il suffira, pour cela, de comparer une parcelle non fumée avec une parcelle recevant une fumure complète. Nous établissons donc deux essais, composés de trois parcelles chacun :

Essai 1 ne reçoit rien.

Essai 2 reçoit azote, potasse, acide phosphorique.

Nous voulons savoir ensuite ce que le sol est susceptible de fournir à la

plante de chacun de ses éléments nutritifs, dans le cas d'une culture intensive, c'est-à-dire lorsqu'il s'agit d'obtenir un rendement forcé. Pour cela, nous disposons en outre, les trois essais suivants :

Essai 3. Reçoit potasse, acide phosphorique.
Essai 4. Reçoit azote, acide phosphorique.
Essai 5. Reçoit azote, potasse.

L'essai 5, comparé avec 1, nous indique ce que le sol est en état de fournir d'acide phosphorique, et ainsi des essais 3 et 4 pour l'azote et la potasse ; de plus, si nous comparons les essais 3, 4, 5 à l'essai 2, nous voyons pour quelle part chaque engrais de la fumure contribue à la formation de l'excédent de récolte ou, autrement dit, dans quelle mesure chacun des éléments nutritifs du sol doit être complété pour produire un excédent de récolte sur le terrain non fumé.

« Cette expérience atteint une grande précision si nous faisons l'analyse chimique de la récolte, car alors nous pouvons, ce qui est plus exact, remplacer le poids de la substance végétale récoltée par des chiffres représentant l'azote, la potasse et l'acide phosphorique de la récolte. Soient par exemple, les chiffres :

Essai 1. 23 k. 1 d'acide phosphorique.
Essai 2. 35,7 — —
Essai 3. 30,9 — —

Ces chiffres nous montrent que le sol, sans le secours d'aucun engrais, est en état de fournir à la récolte 23 kil. 1 d'acide phosphorique, et qu'en lui donnant des engrais suffisants on peut en obtenir 35 kil. 7. Mais cela ne veut pas dire que, pour obtenir l'excédent de récolte correspondant, il faut nécessairement fournir au sol la différence de 35 kil. 7 et 23 kil. 1, soit 12 kil. 6 d'acide phosphorique (ou, plus exactement, la quantité de cet élément reconnue pratiquement nécessaire pour obtenir un surplus de rendement renfermant 12 kil. 6 d'acide phosphorique), mais que le chiffre sur lequel on doit baser le calcul d'une fumure supplémentaire rationnelle est 35 kil. 7 — 30 kil. 9 = 4 kil. 8 d'acide phosphorique. En effet, l'essai 3 nous prouve que la plante, dès qu'elle a à sa disposition les autres principes nutritifs en quantité suffisante, développe un système radiculaire plus puissant, peut extraire du sol même non pas 23 kil. 1, comme dans le cas de non fumure, mais 30 kil. 9 d'acide phosphorique ; le champ d'expérience nous fournit une analyse directe et exacte de notre sol.

Dans l'expérience ci-dessus, il faut donc faire 3 essais, comprenant 3 parcelles chacune, en tout 15 parcelles ; on lui donne ordinairement la forme suivante :

5	4	3	2	1	5	4	3
	1	2	3	4	5	1	2

En faisant l'analyse de notre sol, nous avons déjà appris si une fumure rapporte, en général, un excédent de récolte ; et il nous suffit de calculer les frais de dépense supplémentaire occasionnés par cet excédent pour savoir de suite si cette fumure cause un profit quelconque.

Nous voulons maintenant savoir comment nous devons fumer, c'est-à-dire connaître d'abord le maximum de rendement que nous sommes en droit d'attendre de notre sol, et ensuite la quantité d'engrais que nous devons employer en vue de ce rendement maximum. Ici intervient utilement, et surtout d'une manière très simplifiante, l'application des normes. Si nous semons de l'avoine, le rendement le plus économique sera toujours celui qui nous rapportera 400 kilos de grains à raison de 100 kilos de nitrate de soude; ce sera là le terme de nos efforts, et toute la pratique de notre exploitation aura pour but de faire en sorte que notre champ tire du nitrate de soude un profit de plus en plus proche de la norme donnée par la théorie. Il nous faut donc d'abord nous renseigner sur le rendement réel atteint dans notre culture par 100 kilos de nitrate, et ensuite préciser jusqu'à quel point le nitrate se montrera *rendable*, c'est-à-dire jusqu'à quelle dose un surplus de cet engrais produira un excédent de récolte qui se traduise en bénéfice net.

Pour trancher cette question (qui n'est qu'un exemple, car nous pouvons et nous devons faire subir le même examen pour la potasse et l'acide phosphorique, ou même pour d'autres engrais azotés), nous conserverons le même plan général de l'expérience que dans l'exemple cité plus haut comme type d'analyse de terre. Seulement, nous échelonnerons l'azote en diverses doses, ordinairement en trois. L'essai 2 du plan précédent sera donc complété et divisé en trois autres essais :

Essai 2 *a*. Potasse, acide phosphorique, 1/3 de la fumure azotée maxima.
Essai 2 *b*. Potasse, acide phosphorique, 2/3 de la fumure azotée maxima.
Essai 2 *c*. Potasse, acide phosphorique, fumure azotée maxima complète.

Cet essai est destiné surtout à nous fixer sur la *rendabilité* de la fumure en général; nous verrons, par exemple, que 1/3 de la fumure azotée est très rendable, 2/3 un peu moins et 3/3 plus du tout; nous limiterons donc l'emploi de l'azote et nous réglerons la dose de potasse et d'acide phosphorique en conséquence.

Ces expériences faites sur les diverses terres de notre culture, ou du moins sur toutes celles qui présentent un caractère particulier, nous connaissons réellement notre exploitation : ce qu'elle vaut et ce qu'elle peut valoir; et, d'autre part, nous dominons notre production végétale ou plutôt les conditions de rendabilité de cette même production. Et ceci n'est point une exagération ou un trompe-l'œil : la vérité de cette assertion se fait sentir plus loin qu'on ne le croirait apparemment : grâce, en effet, à cette connaissance exacte de notre sol, et avec un peu d'habileté, nous nous rendons, jusqu'à un certain point, indépendants des anomalies de la saison et du climat, ou de la variation des prix, ou du moins nous pouvons nous prémunir ou nous défendre contre elles; car la potasse et l'acide phosphorique, qui sont employés, en général, comme capital à lente action, au commencement de l'année, ont la propriété de se conserver dans le sol; et, d'un autre côté, en ce qui concerne l'azote, il est toujours possible de s'arranger pour viser le degré de production compatible avec les divers facteurs de l'économie agricole sans cesse en variation. D'autre part, nous dominons d'autant plus la production végétale que le sol, dans le cas d'une culture intensive, tend à perdre beaucoup de sa complexité variable, et pour ainsi dire arbitraire, et que la végétation elle-même s'affranchit de plus en plus et souvent complètement de l'état de dépendance complète des circonstances climatériques où elle se trouvait auparavant. Le sol, mieux travaillé ou approvisionné d'aliments appropriés à sa composition, devient plus égal ou, du moins, plus également nourricier; et l'être végétal, aux racines profondément plongées dans cette riche source de vie, trouve l'énergie suffisante pour résister avec succès à la plupart des ennemis qui menacent ses droits à l'existence. S'il nous est permis de parler ainsi, la culture intensive a pour effet d'élever peu à peu les conditions de la culture pratique à la hauteur des

conditions idéales de culture telles que nous les trouvons réalisées dans le vase d'expérience. Les récoltes tendent de plus en plus à devenir égales et sûres; les résultats du champ d'expérience constituent donc un témoignage digne de foi et utile, et la culture rationnelle, en fait, n'est nullement une utopie, comme le pensent trop dédaigneusement quelques praticiens, pour qui un vague flair agricole et l'expérience d'un nombre infini d'années tient exclusivement lieu de science et de jugement.

« Si nous envisageons maintenant la situation que l'application de la méthode de Wagner crée au cultivateur, nous voyons d'abord que *l'expérience en vase lui fait connaître l'action théorique des engrais, la valeur culturale comparée.* Cette valeur une fois établie scientifiquement, le prix ou la valeur commerciale des engrais s'en rapprochera de plus en plus; car on sait que la valeur matérielle et usagère d'un objet est toujours le premier facteur constituant de son prix. Cela n'existait pas autrefois; le marchand d'engrais avait l'autocratie, l'arbitraire du pharmacien ou du droguiste dans son officine : aujourd'hui, pour peu qu'il veuille invoquer l'arbitre de la science économique, le cultivateur, en achetant ses engrais, fait et fera de plus en plus un commerce rationnel et sûr.

D'autre part, par l'expérience en plein champ, le cultivateur connaît la valeur relative qu'ont pour lui, dans son domaine, les engrais qu'il veut acheter. Cela le met dans les conditions naturelles de l'industriel qui achète, pour la travailler, une matière brute quelconque : comme lui, il connaît la force et la valeur de son exploitation, et il peut, avant de faire un marché, calculer le prix de revient de la marchandise. S'il veut être un bon cultivateur, il lui reste une autre condition à remplir, que tout bon industriel réalise dans son usine; il lui faut établir une comptabilité et un contrôle techniques de son exploitation. Il faut qu'il puisse tenir une balance des éléments producteurs de son sol, se rendre compte qu'il procède à coups sûrs, sans gaspillage comme sans parcimonie, en un mot, qu'il ne s'éloigne à aucun moment, dans son travail, du but qu'il s'est proposé en commençant et qui est de gagner le plus possible. Jusqu'ici ce n'était guère réalisable. Comme base rationnelle d'une culture méthodique, on n'avait que les recettes des journaux agricoles, ou des professeurs d'agriculture, qui, toutes à peu près, se résumaient ainsi : » En bonne terre, pour avoir des betteraves, employer tant de kilogs de nitrate de soude, de sulfate de potasse et de superphosphate ou de scories »; ou encore : « En terre lourde, après blé, etc., etc. » Outre que ces recettes ne reposent sur aucune base sérieuse, elles ont le tort de ne jamais être directement applicables, et ce, pour deux raisons : elles ne tiennent pas compte des conditions particulières de chaque terrain, si importantes à considérer; de plus, elles n'envisagent qu'une seule récolte en particulier, au lieu de tenir compte de toute la rotation.

Par le champ d'expérience on se garantit de la première source d'erreur, et d'autre part Wagner a apporté un perfectionnement considérable dans une méthode rationnelle, en accordant une plus grande importance et même une importance capitale à la *rotation. La rotation seule doit faire l'objet de la comptabilité technique de la ferme ;* elle est pour l'agriculteur ce que la « campagne », par exemple, est pour le fabricant de sucre : de même que celui-ci doit attendre la fin complète de sa fabrication pour pouvoir balancer le sucre entré dans son usine sous forme de betteraves avec le sucre qui lui reste entre les mains et, au besoin, celui qu'il a perdu, de même, pour l'agriculteur, la rotation limite l'espace au bout duquel il peut fermer sa comptabilité technique et comparer la somme d'engrais confiés au sol avec la masse de végétation produite.

Comment organiser cette comptabilité technique? Nous partons du principe

que, grâce au champ d'expérience, nous connaissons bien notre terrain, c'est-à-dire ce qu'il rapporte normalement de lui-même, avec les seuls engrais naturels de la ferme, et d'autre part ce que nous pouvons lui faire rapporter par un supplément de fumure artificielle. Nous établissons ensuite le plan complet de notre rotation; prenons l'exemple donné par Wagner, qui ne s'applique pas, il est vrai, à la grosse culture intensive betteravière, mais qui présente précisément l'avantage d'être plus compliqué :

1re année..... 1/2 sole, betteraves fourragères.
1/2 sole, pommes de terre.
2e année....... Blé.
3e année....... Avoine avec semis de trèfle.
4e année....... Trèfle.
5e année....... Blé.
6e année....... Avoine.

La première année reçoit le fumier et une partie du purin disponibles de la ferme; la seconde, le reste du purin. Calculons d'abord ce que cette fumure naturelle, donnée pour six années, apporte au sol d'éléments nutritifs, azote, potasse, acide phosphorique, et d'autre part ce que doit comprendre une fumure artificielle en vue des rendements visés.

L'azote d'abord doit être traité à part : cet engrais, en effet, par suite de sa nature même ne constitue pas une question de rotation, mais une question de récolte annuelle, c'est-à-dire qu'il doit être mesuré exactement chaque fois en vue de la récolte annuelle et, dans une bonne exploitation, être pour ainsi dire complètement épuisé, une fois la récolte faite. Le champ d'expérience qui nous renseigne sur le rendement naturel de notre terre sans fumure azotée artificielle, et sur le rendement qu'on en peut attendre avec l'aide du nitrate de soude ou du sulfate d'ammoniaque (ce sont les deux seuls engrais que Wagner recommande pour la culture, à cause même de leur rendabilité), suffit donc à nous guider chaque année dans la détermination de la quantité d'azote nécessaire, et la récolte obtenue annuellement nous fixe sur l'utilisation de cet élément faite par notre sol. Dans le plan d'une rotation, il faut donc surtout considérer l'acide phosphorique et la potasse : ce sont ces éléments qui doivent faire l'objet d'une comptabilité particulière pendant toute la durée de celle-là. Connaissant d'une part la quantité de récolte que nous pouvons et désirons faire rapporter à notre champ, ainsi que le pour cent normal de cette récolte en acide phosphorique et en potasse, et, d'autre part, la quantité disponible et assimilable de ces éléments que notre sol offre aux plantes de notre culture, nous trouvons de suite, par un simple calcul, ce que ces plantes doivent recevoir, au cours de la rotation, en acide phosphorique et en potasse assimilables pour produire le rendement qui leur est demandé.

Nous voulons, par exemple, obtenir une augmentation de rendement de 23 quintaux de blé à l'hectare; ces 23 quintaux contiennent normalement 24 kilos d'acide phosphorique. Or, la science agronomique nous apprend que, pour produire une quantité de blé contenant 24 kilos d'acide phosphorique, il faut mettre à la disposition de la plante dans le sol, non pas cette même quantité, mais cinq fois plus environ, soit 120 kilos d'acide phosphorique assimilable; et ainsi des autres plantes de la rotation.

« Il se présente donc ce phénomène particulier dans toute culture intensive, qu'il doit être extrait du sol, au cours de la rotation, une certaine somme d'acide phosphorique par diverses récoltes, et que chaque récolte doit trouver à sa disposition une quantité d'acide phosphorique assimilable environ cinq fois plus grande que celle qu'elle est destinée à enlever au sol. Est-ce à dire que la quantité d'acide phosphorique à confier au sol pendant la rotation toute entière doit être égale à cinq fois la quantité produite? Non:

des 120 kilos d'acide phosphorique apportés par le blé, 1/5 seulement est épuisé la même année et les quatre autres cinquièmes constituent une provision de réserve pour les années suivantes. C'est cette provision, ce capital qu'il faut savoir conserver d'abord et exploiter ensuite. Suivant les aptitudes des diverses plantes, nous laisserons ce capital constant, nous l'augmenterons et nous le laisserons s'épuiser : mais toujours, et c'est la chose principale, nous serons fixés sur la quantité qu'il représente et nous la maintiendrons dans les conditions les plus avantageuses pour notre exploitation.

De même pour la potasse. Celle-ci présente cependant une difficulté un peu plus grande dans l'application. A cause de sa plus grande solubilité, il n'est pas nécessaire, et il n'est pas permis d'en conserver dans le sol une réserve aussi considérable. Au lieu de quintupler la quantité destinée à être exportée du sol, nous la doublerons seulement, en nous tenant en deçà ou au delà de cette proportion, suivant la nature de la plante. Grâce à l'avoine, qui n'exige presque pas d'excès en cet élément, nous pourrons toujours nous arranger de telle sorte que, en fin de rotation, la somme de potasse exportée de notre sol couvre la somme apportée par les diverses fumures.

Comme on le voit, le principe est très simple et l'application n'est pas non plus très difficile : pour tout appareil scientifique, elle n'exige que l'essai préalable du champ d'expérience, destiné à nous fixer sur l'état cultural de notre champ et à servir de base pour toutes les opérations ultérieures. Une fois cette base établie, il est permis, si l'on n'envisage que l'à peu près. de régler sa ligne de conduite et de tenir sa comptabilité culturale d'une façon tout empirique, en se servant des résultats déterminés par le champ d'expérience.

« Nous agirons toujours alors comme si chaque année la même quantité de récolte enlevait toujours au sol la même quantité d'éléments fertilisants. Nous calculerons, en un mot, non pas avec les chiffres qui représentent la situation réelle de notre exploitation, mais avec ceux qui représentent la moyenne établie par le champ d'essai. Cette manière d'agir est sujette à des erreurs, qui peuvent, avec le temps, devenir considérables. Si nous voulons procéder en toute sûreté et avec précision il nous faut employer le champ d'expérience continu. La méthode du champ d'expérience, qui nous a été tout d'abord un moyen d'analyse, nous devient maintenant un moyen de contrôle ; c'est seulement appliquée sous ses deux formes qu'elle donne à notre système de culture sa solidité, son caractère scientifique, sa rationnalité.

« Ce champ d'expérience continu doit nous renseigner chaque année, pendant le cours de la rotation, sur l'état de notre culture; aussi on l'installe pour plus de commodité, dans la pièce de terre qui, par sa constitution, répond le mieux à la moyenne des terres de l'exploitation : au besoin, et si les différences entre les diverses parties de la culture étaient trop grandes, on en installerait deux au lieu d'un. Le plan est le suivant :

Essai 1. Sans fumure aucune.

Essai 2. Fumure ordinaire de la ferme : purin, fumier.

Essai 3. Fumure ordinaire de la ferme, plus fumure minérale.

Essai 4. Fumure ordinaire de la ferme, plus fumure minérale, à l'exception de l'acide phosphorique.

Essai 5. Fumure ordinaire de la ferme, plus fumure minérale, à l'exception de la potasse.

Essai 6. Fumure ordinaire de la ferme, plus fumure minérale, à l'exception de l'azote.

La portée des questions que l'expérience est appelée à résoudre ressort d'elle-même. La plante destinée à l'essai est toujours celle même que l'on doit cultiver dans le champ où la surface d'essai se trouve englobée, de sorte que la succession des cultures s'y fait dans l'ordre même de la rotation. Les

résultats annuels du champ de contrôle nous renseignent sur la manière dont chaque plante de la rotation se comporte vis-à-vis de la fumure et nous permettent de corriger au besoin notre manière d'agir, dès l'année suivante, pour toutes les terres destinées à produire la même récolte. De plus, nous sommes fixés exactement sur la marche de notre exploitation : nous savons si nous avons pris un bon parti en projetant notre plan de culture; nous établissons plus exactement le compte des engrais que nous apportons dans notre sol et de ceux que nous en exportons. Nous sommes sûrs enfin de toujours suivre la voie la meilleure et la plus pratique, parce que la méthode même nous met à l'abri des errements, souvent funestes, de la routine comme des illusions de la théorie pure.

« La culture rationnelle, c'est-à-dire une culture procédant en tout avec méthode et critique, laquelle jusqu'ici n'était qu'une illusion, devient donc et peut dès maintenant, comme le pense Wagner, être appelée une réalité. Wagner conçoit sa réalisation par la collaboration, en pratique, du cultivateur et du savant agronome, la station agricole mettant la plus grande partie de son activité au service direct de la culture. C'est ce qui se passe aux environs de Darmstadt. Le cultivateur (ou le cercle agricole) fait étudier par la Station les engrais nouveaux parus dans le commerce, ou, plus généralement, ceux qu'il désire employer, afin d'être renseigné sur leur valeur et les particularités de leur action. Il lui demande, en outre, d'installer des champs d'expérience dans son exploitation et d'en tirer pour lui des conclusions : il attend, en un mot, de la Station une direction scientifique. »

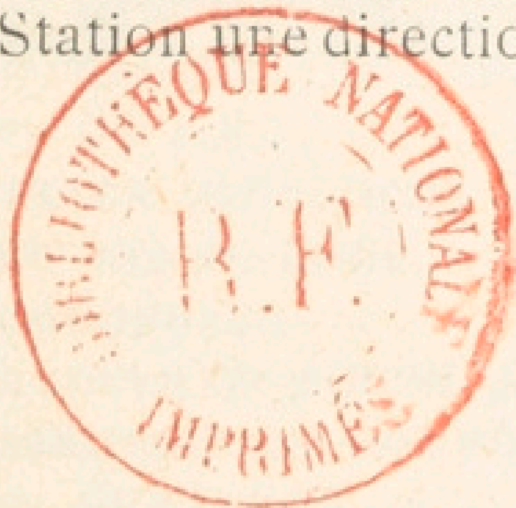


TABLE ALPHABÉTIQUE

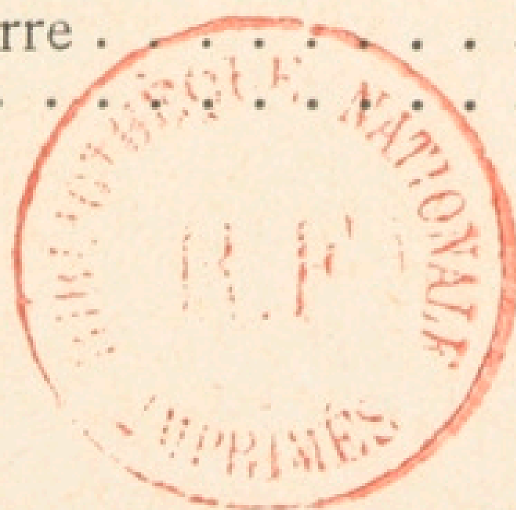


TABLE DES MATIÈRES



70385. — PARIS, IMPRIMERIE LAHURE
9, rue de Fleurus, 9.

